

Dottorato di Ricerca in ENERGETICA

XXIV ciclo

Triennio accademico 2008/09 – 2010/11

**Strategie di uso, accumulo e scambio di energia
autoprodotta in aree urbane intelligenti**

Docente guida: Prof. Ing. Vincenzo Naso
Tutor: Prof. Luca Rubini

Candidata: Ing. Silvia Sangiorgio

Panoramica

Lo sviluppo di una ricerca relativa alle tecnologie basate sullo sfruttamento delle risorse rinnovabili, il loro sviluppo, le strategie di uso e la diffusione sul territorio, si è arricchita e ampliata notevolmente nel corso degli ultimi anni.

Il lavoro di seguito presentato segue l'evoluzione di questo scenario: appena quattro anni fa, sarebbe stato "sufficiente" parlare delle tecnologie, diffuse ma ancora parzialmente, e conosciute perlopiù dagli esperti di settore.

Oggi non ha più senso parlare solo delle tecnologie, ormai date per assodate. Il vero problema, semmai, è la loro integrazione più funzionale nel sistema esistente: l'efficienza, non più vista solo nell'uso singolo, ma nella complessità delle interazioni tra singole unità.

Concetti come *smart grid* e *smart city*, pochi anni fa, erano solo accennati, addirittura ignoti ai più: ora sono prepotentemente presenti nei programmi europei, nelle applicazioni che periodicamente si trovano sul mercato, e se ne inizia a parlare più diffusamente anche su riviste più divulgative.

Al centro dell'analisi presentata si ha il sistema città, come rete di "dati" creata dall'uomo: nella città infatti si ha la summa di tutte le attività umane, che in essa si intrecciano e si scambiano, in una mescolanza che, se non "programmata", si rivela inefficiente e porta allo spreco di risorse.

Si parte quindi dai concetti base dell'urbanistica - dai quali si evince come la città sia sempre stata pensata in modo razionale ed efficiente - fino al concetto di smart city, naturale evoluzione dei principi di base. Contemporaneamente, si delinea il quadro nel quale si va ad operare: la situazione mondiale, e in particolare europea, è sempre più traghettata verso la sostenibilità, con progetti e programmi ad hoc.

Nel contesto più generale delle smart cities, si introduce poi il concetto basilare di smart grid, senza la quale l'integrazione delle tecnologie di produzione, uso e accumulo energetico non possono dialogare adeguatamente ai fini dell'efficienza complessiva del sistema. Si passa dunque ad analizzare una delle componenti di base della smart grid: l'edificio, che, inteso in primis come involucro, svolge funzioni disparate, sempre e comunque al servizio della città e dei suoi abitanti. Costruire in modo sostenibile, integrando le funzioni degli edifici tra di loro e con i servizi circostanti, progettare l'efficienza e installare sistemi di autoproduzione energetica sono alcuni degli step fondamentali per creare una smart city.

Si passa poi ad un'analisi delle tecnologie maggiormente affini all'uso cittadino, delle quali si possono evidenziare le peculiarità e le finalità di uso, nonché i benefici che da quest'ultimo derivano, a livello locale e più generale.

Non mancano però le problematiche connesse allo sviluppo delle micro reti intelligenti: dopo una analisi della situazione e delle criticità, verrà proposta una strategia di uso tecnologico al fine di integrare perfettamente la tecnologia con la rete.

Indice generale

Introduzione	1

Sezione I	6
 Capitolo 1 Politiche comunitarie per lo sviluppo sostenibile	 7
1. Lo scenario di un clima in movimento	7
2. L'istituzione della Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici	10
3. Strumenti per un'analisi critica dei consumi	14
4. La via verso il Protocollo di Kyoto	18
4.1 I meccanismi di flessibilità: CDM, JI, ETS	21
4.2 Bilancio al 2012: la situazione italiana	24
5. Gli esiti incerti degli accordi internazionali post-Kyoto	26
5.1 Il ruolo della UE: obiettivi del Pacchetto 20-20-20	30
5.2 La campagna SEE	34
6. Il ruolo delle tecnologie verdi per il sistema paese	35
 Capitolo 2 La Smart City	 37
1. Caratteristiche e peculiarità delle Smart Cities	38
2. Problematiche nello sviluppo delle Smart Cities	41
3. Il contesto europeo	44
3.1 Alcuni dati di consumo energetico	47
4. Verso la Smart City	48
5. Dalle Smart Grid alle Smart Cities	49
 Capitolo 3 La rete elettrica nazionale.	
Dalla generazione centralizzata a quella distribuita	51
1. Il modello classico di rete elettrica	51
2. Fonti rinnovabili e generazione distribuita	55
3. Impatto delle fonti rinnovabili sulla rete: limiti di penetrazione	57
3.1 L'esigenza di disporre di una "riserva"	57
3.2 La possibilità di accumulare energia rinnovabile	62
3.3 I disturbi elettromagnetici	63
4. Sistemi di generazione innovativi: le Smart Grid e le Micro Grid	66
4.1 Generalità sulle Smart Grid	66
4.2 I vantaggi	67
4.3 Le sfide	69

Sezione II	70
Capitolo 1 l'edificio come elemento basilare della struttura urbana	71
1. La posizione dell'edificio	73
1.1 Orientamento ed esposizione	73
1.2 La forma e la disposizione degli ambienti interni	77
2. Le pareti e gli isolamenti	79
2.1 L'isolamento dell'involucro	83
2.2 Le tipologie di materiali isolanti	86
3. Il sole: la principale risorsa energetica	88
3.1 Guadagno solare diretto	88
3.2 Le finestrate	89
3.3 Riflettori solari, isolamenti e schermature	93
3.4 I sistemi opachi a guadagno indiretto: muro solare e muro Trombe	100
4. Illuminazione naturale	103
4.1 Trasportare la luce: i condotti di illuminazione	109
5. La ventilazione naturale	110
5.1 Ventilazione incrociata (o cross ventilation)	111
5.2 Camino solare	112
5.3 Atri aspiranti	112
5.4 Torri di ventilazione	113
5.5 Torri del vento	113
5.6 Camini eolici	114
5.7 Sistemi di nebulizzazione	114
6. La ventilazione per l'isolamento	115
6.1 Le pareti ventilate	115
6.2 Ventilazione e isolamento del tetto	119
7. Esempi realizzativi	121

Capitolo 2

Fonti rinnovabili ed efficienza energetica: produrre energia secondo criteri sostenibili

1. Solare termico: calore dal sole	126
1.1 Sistemi solari termici	127
1.2 Sistema di controllo e regolazione	132
1.3 Tipologie di impianto	133
1.4 Acqua calda sanitaria	134
1.5 Riscaldamento domestico	135
1.6 Tipologie impiantistiche per condomini	136
1.7 Integrazione in ambito residenziale	137
2. Solare fotovoltaico: elettricità dal sole	139
2.1 Tipologie impiantistiche	140
2.2 Stato dell'arte delle celle fotovoltaiche	143
2.3 L'integrazione degli impianti nel contesto edilizio	144
2.4 Soluzioni disponibili sul mercato	149
3. Sfruttare il calore del terreno per climatizzare gli ambienti: la geotermia	152

3.1 Il sistema geotermico	153
3.2 Dimensionamento delle sonde	156
3.3 Macchine per la climatizzazione	157
4. Calore, elettricità e freddo: cogenerazione e trigenerazione	157
4.1 Il bilancio energetico dei sistemi cogenerativi	158
4.2 Sistema e componenti	159
4.3 Applicazioni	160
5. Pompe di calore	165
5.1 Tipologia delle pompe di calore	165
5.2 Applicazioni delle pompe di calore in ambito residenziale	168
5.3 Criteri di scelta e di dimensionamento dell'impianto	169
5.4 Pompe di calore elio assistite	169
5.5 Pompa di calore geotermica per condizionamento	170

Indice Allegati Sezione II

Allegato 1 - La certificazione energetica degli edifici

Allegato 2 - La certificazione ITACA E LEED

Allegato 3 –Finestre: sistemi a singolo e doppio strato

Sezione III

Capitolo 1 La Smart Grid	172
1. La Generazione Distribuita di Energia: Progetti di Implementazione Smart- Grids fra Europa ed U.S.A	173
1.1 Scenario USA	173
1.2 Scenario Europeo	174
1.3 Scenario italiano :l'Europa incentiva le Smart –Grids	174
2. Caratteri generali di una Smart-Grid	176
2.1 Svantaggi principali	177
2.2 Componentistica	178
3. Domotica e building automation	183
3.1 Gli scenari	185
Capitolo 2 Smart mobility: veicoli intelligenti su strade intelligenti	189
1. Andamento dei consumi energetici mondiali nel settore della mobilità	192
1.1 Il sistema della mobilità in Europa	192
1.2 Il sistema dei trasporti: evoluzione di un settore tra crisi e opportunità	193
2. Auto elettriche nel sistema elettrico nazionale	196
2.1 Scenario di penetrazione delle auto elettriche al 2030	197
2.2 Profili di ricarica	200

2.3 Modelli di simulazione	203
2.4 Assunzioni di scenario	205
2.5 Risultati delle simulazioni di scenario	208
2.6 Considerazioni riassuntive	212
3. Impatto sulla rete di distribuzione della ricarica dei veicoli elettrici	213
3.1 Impatto della diffusione delle EV sulla cabine MT/BT attraverso metodologia semplificata	214
3.2 Impatto della diffusione delle EV su dorsali e prese	215
4. Soluzione Smart- Grids	218

Capitolo 3 Formulazione di un modello per Smart Grid **219**

1. Funzioni del programma applicato al settore edilizio – applicazioni “statiche”	219
2. Funzioni del programma applicato a mobilità (settore mobilità)	223

Indice Allegati Sezione III

Allegato 1- The Smart Grid – Where to Start – Capgemini
Allegato 2 – ITS
Allegato 3 - TERM
Allegato 4 - Caso studio batterie Volt
Allegato 5 - Toyota comunicato stampa

L'esperienza dell'arte, nelle ultime decadi, ha dimostrato che l'artista non produce più oggetti finiti: si ferma a metà strada, o a tre quarti, del processo creativo in modo che lo spettatore non sia più in stato di passiva contemplazione dell'opera d'arte, ma divenga un fattore attivo del suo messaggio polivalente

[Carta di Machu Picchu, 1977]

Il contesto urbano ha vissuto, dal XX secolo in poi, profonde modifiche, dovute all'evoluzione delle necessità dei suoi abitanti e dell'economia che nel corso degli anni modificava necessariamente i centri di produzione, di consumo, di amministrazione.

L'evoluzione della città può essere riportata ad alcune "summae" di rilevanza storica, a livello urbanistico, e che sono specchio dell'epoca nella quale sono state redatte.

La carta di Atene, redatta nel 1933 dall'International Council on Monuments and Sites, e pubblicata nel 1942 dopo ampia revisione ad opera di Le Corbusier, teorizzava una città funzionale, in linea con le necessità della società moderna, quella post-industriale, che aveva visto mutare le città in funzione della crescente industrializzazione, ritrovandosi in agglomerati urbani spesso invivibili e/o sovraffollati.

Da qui la necessità di stendere un testo, programmatico, di divulgazione, nel quale si proponeva, enunciandone le caratteristiche funzionali, una città divisa in zone basate sulle attività umane, che permettesse una vita armoniosa.

La città descritta nella carta di Atene aveva perciò zone funzionali dedicate a: abitare, lavorare, divertirsi, spostarsi, organizzate nel pieno rispetto del patrimonio storico culturale, in virtù del quale tutte le innovazioni tecnologiche utilizzate (e sicuramente auspiccate) siano dissimulate nel rispetto dell'ambiente circostante.

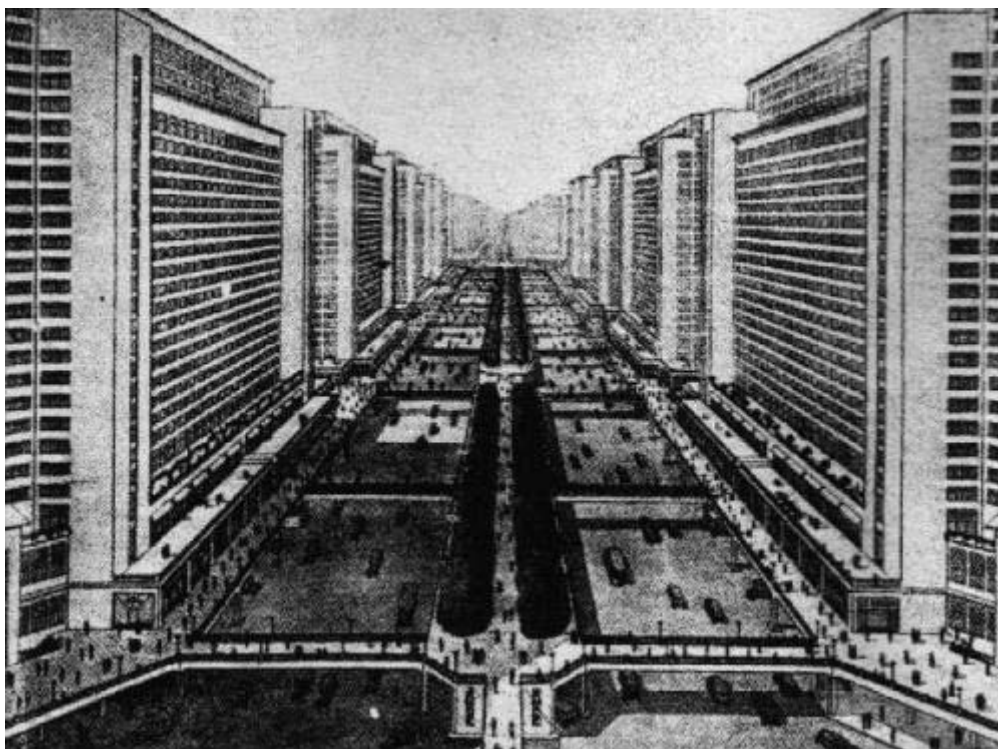
Nell'insieme di considerazioni contenute nel documento, Le Corbusier afferma l'importanza di uno Statuto del terreno, secondo il quale decidere come il suolo verrà occupato, definendo il rapporto tra superficie edificata e superficie libera o a verde; viene inoltre sottolineata l'impossibilità di scissione tra spazio abitabile/abitato e ambiente circostante.

L'insieme di osservazioni, seguite dalla descrizione di "regole" di base per la costruzione di una città armoniosa, risultano affini alle concezioni attuali, ma con il limite dato dal background sociale-economico-energetico che non permetteva di valutare quella che di lì a poco sarebbe stata l'evoluzione esplosiva della città.

Nel dicembre 1977, dopo "soli" 35 anni, un convegno internazionale svoltosi a Lima e Cuzco, al quale parteciparono numerosi architetti e urbanisti mondiali, votò la **Carta del Machu Picchu**, redatta allo scopo di attuare "una revisione anti-illuministica della Carta di Atene".

L'aver basato la struttura urbana sulle zone, con grandi interventi di housing, aveva accresciuto l'importanza dell'automobile, con conseguente motorizzazione di massa, pendolarismo e tempi morti causati dagli spostamenti, ma di fatto il modello implodeva su se stesso con la successiva, continua, espansione delle città, generata dall'esplosione demografica e dalle crescenti opportunità provenienti dalla città stessa, che generavano uno spostamento della popolazione verso l'area urbana.





La scoperta della struttura e delle patologie di Megalopoli (J. Gottmann, 1961), delle illimitate potenzialità della Società post-industriale (A. Touraine, 1969) e degli sconvolgimenti ambientali prodotti, imponevano ormai di rovesciare o, meglio, rifondare le leggi della carta di Atene.

L'approccio nuovo, contemporaneo, dato dalla Carta di Machu Picchu getta le fondamenta di quello che può essere definito lo sviluppo sostenibile del contesto urbano, che, traghettato all'interno delle nuove tecnologie informatiche, porta al concetto attualissimo e fortemente proiettato al futuro della Smart City.

Nel documento del 1977 si affrontano infatti alcuni aspetti fondamentali che nel corso del Novecento hanno subito tangibili trasformazioni.

- La **pianificazione**, che viene vista come “strumento sintetico per analizzare i bisogni, i problemi, le possibilità e per guidare la crescita, lo sviluppo e i mutamenti urbani nei limiti delle risorse disponibili” e che “è un obbligo fondamentale dei governi impegnati nel tema degli insediamenti umani.” Quartieri, città, regioni, diventano un continuum, che prevede l'interazione delle professionalità e dei livelli decisionali per garantire una pianificazione corretta e priva di sprechi. Si aggiunge inoltre che “È responsabilità dei governi e della professione perseguire l'attuazione dei piani e delle politiche su cui sono basati.”
- L'**aumento della popolazione**, che ha determinato una “*triplice crisi: ecologica, energetica, alimentare*”.

- **L'integrazione delle funzioni**, necessaria ai fini del funzionamento di una realtà in forte espansione quale è la città.
- **L'abitazione**, che deve garantire “la qualità della vita e la sua integrazione con l'ambiente naturale”. La progettazione finalizzata a questo connubio diventa quindi “un fondamentale traguardo nella formulazione di spazi abitabili”.
- La predisposizione di **sistemi di trasporto di massa** nelle città, vista come integrazione del mezzo privato e come soluzione, seppure parziale, al dilagante inquinamento acustico e ambientale.
- **L'inquinamento ambientale**, visto come **una delle più serie minacce contro la natura**, causato dall'urbanizzazione non pianificata e dall'eccessivo sfruttamento delle risorse. Viene sottolineata l'eccessiva quantità di sostanze tossiche nell'atmosfera, nell'acqua, negli alimenti, alla quale si aggiunge un pesante inquinamento acustico.
- **I beni culturali**, per i quali è necessaria un' “azione preservatrice, di restauro e riciclaggio di ambienti storici e monumenti architettonici [...] integrata nel processo vitale dello sviluppo urbano”.
- **La tecnologia**, vista come opportunità di risoluzione di problemi urbani ed edilizi, a patto di “creare un ambiente pianificato in armonia con gli elementi della natura”, nonché come possibilità di sfruttamento delle risorse anche tramite il riciclaggio.
- L'evoluzione dell'architettura e della progettazione urbana in funzione della creazione di spazi sociali in cui vivere. L'attenzione non è più sul contenitore, ma sui contenuti, al fine di creare un **tessuto urbano continuo**, non più composto da singole “scatole” indipendenti e isolate una dall'altra.

Dal 1977 a oggi l'evoluzione della società ha portato mutamenti ancora più grandi rispetto a quanti se ne siano verificati tra la prima e la seconda metà del Novecento. Ma i concetti rimarcati nella Carta di Machu Picchu sono gli stessi che attualmente vengono discussi su tavoli internazionali, allo scopo di ottenere quella che viene chiamata sostenibilità.

Non solo. Il breve excursus, che riporta solo un paio di esempi, dimostra come il concetto di Smart City sia probabilmente innato nella concezione urbanistica dell'uomo.

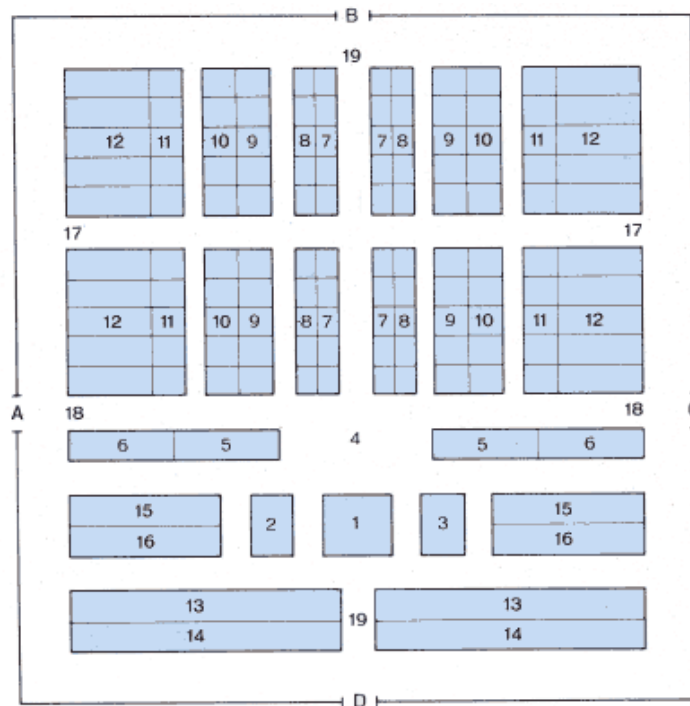
Si pensi al *Castrum* Romano: sebbene si trattasse di insediamenti temporanei a scopo bellico, la struttura veniva concepita nel modo più efficiente possibile. La tenda del comandante, sede del controllo, veniva posta in zona centrale, e da lì si diramava una griglia suddivisa in base a zone di “competenza”.

Lo schema del Castrum porta immediatamente a pensare alle micro grid attuali. Non più quindi una griglia fisica, in base alla quale organizzare le persone, ma una piccola rete virtuale, nella quale il contatto tra le persone avviene attraverso un segnale digitale.

Pianta di un accampamento militare romano.

A – porta sinistra.
B – porta decumana.
C – porta destra.
D – porta praetoria.

1, praetorium o tenda del comandante;
2, tenda del questore; 3, tenda dei due luogotenenti; 4, principium o spazio per le adunate; 5, tende dei tribuni; 6, tende dei prefetti degli alleati; 7, tende della cavalleria romana; 8, tende dei triarii; 9, tende dei principes; 10, tende degli hastati; 11, tende della cavalleria alleata; 12, tende della fanteria alleata; 13, 14, tende della cavalleria e della fanteria degli extraordinarii; 15, guardia del comandante; 16, volontari; 17, via Quintana; 18, via Principale; 19, via pretoria.



L'evoluzione tecnologica è quindi ciò che in un certo senso mancava a completare un quadro le cui basi sono nella cultura umana da sempre.

Possiamo definire smart city, in prima istanza, una città che riesca a unire una solida ed efficiente organizzazione territoriale, con i sistemi tecnologici in essa operanti, e nella quale le persone, siano “semplici” abitanti o decision makers, sappiano comprendere e utilizzare gli strumenti a loro disposizione per mantenere e possibilmente implementare l'efficienza complessiva del sistema.

Una città può essere definita “smart” quando gli investimenti in capitale sociale e umano, nonchè nelle infrastrutture di comunicazione tradizionali (trasporti) e moderne (ICT) alimentino uno sviluppo economico sostenibile e un'alta qualità di vita, caratterizzata da una gestione intelligente delle risorse naturali, grazie anche al supporto delle autorità.

SEZIONE I

POLITICHE COMUNITARIE PER LO SVILUPPO SOSTENIBILE

Capitolo 1

Politiche comunitarie per lo sviluppo sostenibile

1 Lo scenario di un clima in movimento

I più recenti approfondimenti scientifici confermano l'influenza delle attività antropiche sui cambiamenti climatici, che fanno aumentare la temperatura della superficie terrestre e dei mari e alterano la quantità e l'andamento delle precipitazioni; tutto ciò comporta un innalzamento del livello medio dei mari, il rischio di erosione delle coste e il probabile acuirsi delle catastrofi naturali di origine meteorologica. I cambiamenti dei livelli delle acque e delle loro temperature e flussi avranno, a loro volta, ripercussioni sull'approvvigionamento alimentare, sulla salute, sull'industria e sull'integrità dei trasporti e degli ecosistemi. I cambiamenti climatici avranno effetti socioeconomici rilevanti, e alcune regioni e settori ne subiranno le conseguenze più di altri. Anche alcuni gruppi sociali (anziani, disabili, famiglie a basso reddito) dovrebbero risentirne maggiormente. La lotta ai cambiamenti climatici impone due tipi di risposta. La prima, e più importante, consiste nel ridurre le nostre emissioni di gas serra (intervento di mitigazione) e la seconda nell'intervenire in termini di adattamento per affrontarne gli impatti inevitabili. Le normative sui cambiamenti climatici che l'UE ha approvato sono numerose, e sempre più specificamente indirizzate alla risoluzione del problema. L'adattamento è già in atto, ma in maniera frammentata. Occorre invece un approccio più strategico per garantire che le misure di adattamento necessarie siano adottate per tempo e siano efficaci e coerenti tra i vari settori e livelli di governo interessati. Ma anche se a livello mondiale riuscissimo a limitare e poi a ridurre le emissioni di gas serra, ci vorrà del tempo prima che il pianeta riesca a recuperare rispetto ai livelli di gas serra già presenti in atmosfera; ciò significa che dovremo affrontare gli impatti dei cambiamenti climatici per almeno i prossimi 50 anni. Dobbiamo dunque adottare delle misure per adattarci.

La gravità degli impatti dei cambiamenti climatici varia da regione a regione: in Europa, le zone più vulnerabili sono l'Europa meridionale, il bacino del Mediterraneo, le regioni periferiche e l'Artide. Anche le aree montane, ed in particolare le Alpi, le zone insulari, le zone costiere e urbane e le pianure alluvionali densamente popolate stanno affrontando problemi particolari.

Al di fuori dell'Europa, i paesi in via di sviluppo (e fra questi i piccoli stati insulari) saranno ancora particolarmente vulnerabili.

I cambiamenti climatici avranno ripercussioni su numerosi settori. In agricoltura i cambiamenti previsti incideranno sulle rese, sulla gestione del bestiame e sull'ubicazione della produzione. La maggiore probabilità di eventi meteorologici estremi sempre più gravi aumenterà notevolmente il rischio di problemi

alle colture. Vi saranno ripercussioni anche sul suolo perché diminuirà la materia organica, uno degli elementi che contribuiscono maggiormente alla fertilità dei suoli.

Gli effetti dei cambiamenti climatici sulle foreste potranno comprendere cambiamenti nello stato di salute e nella produttività delle foreste e modifiche nella distribuzione geografica di alcune specie di alberi. I cambiamenti climatici aggiungeranno stress anche ai settori della pesca e dell'acquacoltura. Infine, anche gli ecosistemi costieri e marini ne risentiranno gravemente. Il tasso di erosione delle coste aumenterà e le difese oggi esistenti potrebbero non offrire una protezione sufficiente. Su questo sfondo, le isole e le regioni periferiche meritano un'attenzione particolare.

Nel settore dell'energia i cambiamenti climatici incideranno direttamente sia sulla domanda che sull'offerta. L'impatto previsto dei cambiamenti climatici sulle precipitazioni e lo scioglimento dei ghiacciai fa pensare ad un possibile aumento della produzione di energia idroelettrica pari a circa il 5%, se non di più, nell'Europa settentrionale e a una diminuzione di almeno il 25% nell'Europa meridionale. Anche la diminuzione delle precipitazioni e le ondate di calore potrebbero avere un'incidenza negativa sul processo di raffreddamento degli impianti di produzione di energia termica.

Per quanto concerne la domanda, il maggiore consumo di energia durante i picchi estivi e le conseguenze di eventi meteorologici estremi incideranno, in particolare, sulla distribuzione dell'elettricità. I fenomeni meteorologici estremi avranno pesanti conseguenze economiche e sociali. Basti pensare alle ripercussioni sulle infrastrutture (edifici, trasporti, approvvigionamento energetico e idrico), che rappresentano una minaccia in particolare per le zone ad alta densità di popolazione. La situazione potrebbe aggravarsi con l'innalzamento del livello dei mari.

Sarà dunque necessario un approccio maggiormente strategico e di più lungo termine alla pianificazione territoriale, sia per le zone terrestri che per le zone marine, in particolare nelle politiche in materia di trasporti, sviluppo regionale, industria, turismo ed energia. Il turismo subirà probabilmente le conseguenze della diminuzione delle precipitazioni nevose nelle zone alpine e dell'aumento delle temperature nelle regioni del Mediterraneo. Inoltre, forme di turismo non sostenibile potranno acuire gli effetti negativi dei cambiamenti climatici. La variazione delle condizioni atmosferiche avrà profondi effetti sulla salute umana e delle specie animali e vegetali. Se aumenta la frequenza dei fenomeni estremi potrebbero aumentare anche i decessi e le malattie legati alle condizioni atmosferiche o si potrebbero diffondere maggiormente gravi malattie infettive trasmesse dagli animali agli uomini.

Inoltre, animali e specie vegetali potrebbero essere a repentaglio da eventuali nuovi organismi nocivi.

I cambiamenti climatici modificheranno sensibilmente la qualità e la disponibilità delle risorse idriche e ciò a sua volta avrà ripercussioni su molti settori come la produzione alimentare, dove l'acqua è un elemento essenziale: si pensi che oltre l'80% dei terreni agricoli è irrigato dall'acqua piovana. La produzione alimentare dipende anche dalle risorse idriche disponibili per l'irrigazione: la scarsa disponibilità di acqua è già fonte di problemi in molte zone dell'Europa e si prevede che la situazione peggiorerà a seguito dei cambiamenti climatici. Le zone dell'Europa soggette a forte stress idrico dovrebbero passare dal 19% odierno

al 35% nel decennio 2070. Tutto ciò potrebbe anche aumentare le pressioni migratorie. I cambiamenti climatici aumenteranno le perdite di ecosistemi, compresi gli ecosistemi marini, e di biodiversità, con ripercussioni sulle singole specie ed effetti ben più rilevanti sugli ecosistemi e sui servizi che essi offrono e da cui la società umana dipende. Gli ecosistemi incidono direttamente sui sistemi di regolazione del clima con le torbiere, le zone umide e le profondità marine che rappresentano un'importante zona di stoccaggio del carbonio; non bisogna inoltre dimenticare gli ecosistemi delle paludi salmastre e delle dune, che rappresentano una difesa contro le forti precipitazioni.

Ci saranno conseguenze anche per altri servizi ecosistemici, come la fornitura di acqua potabile, la produzione alimentare e i materiali da costruzione, senza dimenticare il problema dell'acidificazione degli oceani. Alcune prassi di uso del suolo e alcune decisioni in materia di pianificazione (ad esempio opere di costruzione nelle pianure alluvionali) e l'uso insostenibile del mare (ad esempio l'eccessivo sfruttamento della pesca) hanno reso gli ecosistemi e i sistemi socioeconomici più vulnerabili ai cambiamenti climatici e, dunque, meno adattabili.

2 L'istituzione della Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici

A causa della variabilità regionale e della gravità degli impatti dei cambiamenti climatici, gran parte delle misure devono essere adottate in ambito internazionale, e successivamente supportate e rafforzate da un approccio integrato e coordinato a livello nazionale, regionale e locale. I primi passi verso la consapevolezza a livello globale dei problemi ambientali risalgono alla seconda metà del XX secolo ed in particolare alla Conferenza delle Nazioni Unite sull'ambiente umano di Stoccolma tenutasi nel 1972. Si è trattato del primo incontro internazionale dove viene affrontato in maniera globale il problema ambientale del pianeta evidenziando la stretta relazione tra le politiche economiche e quelle ambientali. Nella stessa occasione prende forma il Programma Ambientale delle Nazioni Unite (UNEP – United Nations Environmental Programme) che ha tuttora il compito istituzionale di promuovere e coordinare le iniziative ambientali all'interno dell'ONU. A questo primo incontro, altri si sono succeduti nel tempo (vedi Box 1: Le tappe della negoziazione internazionale), ma è a partire dalla Conferenza di Rio de Janeiro del 1992 che si ha la vera svolta, grazie alla firma della Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC). Ratificata nel 1994 da 192 Paesi e dall'Unione Europea, è nata con l'obiettivo dichiarato di “raggiungere la stabilizzazione delle concentrazioni di gas a effetto serra nell'atmosfera a livello tale da prevenire interferenze antropogeniche dannose per il sistema climatico. Tale livello deve essere raggiunto entro un periodo di tempo sufficiente per permettere agli ecosistemi di adattarsi naturalmente ai cambiamenti del clima e per garantire che la produzione alimentare non sia minacciata e lo sviluppo economico possa continuare a un ritmo sostenibile”, stabilendo anche che occorre fare il possibile per adottare strategie di adattamento nazionali o regionali (art. 4 della Convenzione).

Box 1: Le tappe della negoziazione internazionale	
Dalla ratifica della Convenzione (1994), le Parti si incontrano ogni anno per una conferenza sul clima globale, che in genere si svolge a dicembre. La presidenza cambia annualmente, secondo gli accordi presi dai gruppi di Paesi: Africa, Asia, America latina e Caraibi, Europa centrale e orientale, Europa occidentale e altri Paesi.	
1° Conferenza delle Parti (COP 1) - Berlino, Germania. 28 Marzo-7 Aprile 1995	
La Conferenza delle Parti dell'UNFCCC si incontrò per la prima volta a Berlino dove, tenuto conto dei timori delle Parti sull'adeguatezza degli obblighi della Convenzione a raggiungere i suoi obiettivi ultimi espressi nell'art. 2, adottò la Dichiarazione ministeriale delle Nazioni Unite conosciuta come "Mandato di Berlino". In essa le Parti si impegnavano a trovare un accordo, entro la COP 3, per la definizione di uno strumento legalmente vincolante per la riduzione/limitazione quantificata delle emissioni dei Paesi industrializzati e che esentasse i Paesi non-Annex I da obblighi vincolanti addizionali, in ragione del principio delle "responsabilità comuni ma differenziate" stabilito dalla UNFCCC.	
2° Conferenza delle Parti (COP 2) - Ginevra, Svizzera. 8-19 Luglio 1996	
La seconda Conferenza delle Parti si concluse con la cosiddetta <i>Dichiarazione Ministeriale</i> , ossia una dichiarazione adottata dai Paesi membri in cui si prendeva atto dei rilievi scientifici sui mutamenti climatici contenuti nel <i>Second Assessment Report</i> dell'IPCC (1995) riconoscendone il peso scientifico e, conseguentemente, della necessità di assumere impegni legalmente vincolati.	
3° Conferenza delle Parti (COP 3) - Kyoto, Giappone. 1-10 Dicembre 1997	
Nell'ambito dell'incontro COP 3, è stato firmato il Protocollo di Kyoto, che prevedeva impegni vincolanti di riduzione delle emissioni. Con la sottoscrizione del Protocollo di Kyoto, i Paesi industrializzati e le economie in transizione si impegnavano a raggiungere obiettivi quantificati di riduzione delle emissioni di gas serra, in media di 5,8% rispetto ai livelli del 1990, fra gli anni 2008-2012. Inoltre, furono messi a punto tre strumenti innovativi, i c.d. meccanismi flessibili, per aiutare i Paesi industrializzati a raggiungere i propri obiettivi di riduzione in modo economico (<i>Emissions Trading, Joint Implementation, Clean Development Mechanism</i>). L'entrata in vigore del Protocollo di Kyoto ha richiesto un separato e formale processo di ratifica da parte dei governi firmatari prima di entrare in vigore.	
4° Conferenza delle Parti (COP 4) - Buenos Aires, Argentina. 2-13 Novembre 1998	
La COP 4 avrebbe dovuto risolvere quanto era rimasto irrisolto a Kyoto, ma la complessità e la difficoltà di raggiungere accordi determinarono l'adozione di un "Piano di azioni" biennale per l'implementazione del Protocollo di Kyoto.	
5° Conferenza delle Parti (COP 5) - Bonn, Germania. 23 Ottobre-5 Novembre 1999	
La COP 5 fu principalmente una riunione tecnica che non raggiunse conclusioni rilevanti.	
6° Conferenza delle Parti (COP 6) - Aja, Olanda. 13-24 Novembre 2000	
La COP 6 fu caratterizzata dalle discordie e dalla difficile negoziazione su molti temi tra cui la controversa proposta degli USA di ottenere crediti dal "sink" di carbonio (boschi e terre agricole), le conseguenze di un mancato raggiungimento degli obiettivi di riduzione e le difficoltà di risolvere i problemi di assistenza finanziaria ai Paesi in Via di Sviluppo (PVS) per contrastare gli effetti dei mutamenti climatici.	
6° bis Conferenza delle Parti (COP 6 "bis") - Bonn, Germania. 16-27 Luglio 2001	
A seguito del mancato accordo dell'Aja, i negoziati della COP 6 ripresero denominandosi COP 6 "bis" e non videro partecipare ai negoziati la delegazione americana, a causa del rigetto del Protocollo di Kyoto da parte del nuovo presidente degli USA G.W. Bush. Le altre parti negoziarono pervenendo ad accordi importanti, denominati Accordi di Bonn per l'attuazione del Piano d'Azione di Buenos Aires. Tra i principali risultati vi erano: 1. l'adozione dei tre meccanismi di "flessibilità", che gli USA avevano fortemente sostenuto quando il Protocollo venne inizialmente stilato (<i>Emissions Trading, Joint Implementation, Clean Development Mechanism</i>) senza limiti quantitativi al credito che una nazione poteva rivendicare per l'uso di questi meccanismi ed individuando le loro regole operative; 2. il riconoscimento di un credito per le numerose attività che assorbono carbonio dall'atmosfera o lo immagazzinano, senza l'individuazione di un tetto complessivo sull'ammontare di credito che una nazione poteva pretendere per le attività di abbattimento; 3. primo abbozzo su regole e procedure di conformità e i meccanismi riguardanti la non-conformità a quanto previsto dal protocollo (rinvii al COP 7); 4. la creazione di tre nuovi fondi di finanziamento per fornire assistenza per i bisogni associati ai cambiamenti climatici; un fondo per le nazioni meno sviluppate in supporto ai Programmi d'Azione di Adeguamento nazionale e un fondo di adeguamento al Protocollo di Kyoto, sostenuto da una imposta sul CDM e da contributi volontari.	
7° Conferenza delle Parti (COP 7) - Marrakech, Marocco. 29 Ottobre-9 Novembre 2001	
L'incontro COP 7 permise di completare il lavoro del Piano d'Azione di Buenos Aires, finalizzando gli aspetti tecnici, per permettere la ratifica del Protocollo. Le principali decisioni del COP 7 comprendevano: regole operative e procedure di contabilizzazione per i tre meccanismi di flessibilità, ed il riconoscimento del ruolo dei pozzi di assorbimento (<i>sinks</i>); un regime di conformità che delinei le conseguenze del mancato rispetto degli obiettivi, una volta entrato in vigore; spingere verso una discussione sugli impegni dei futuri Paesi in via di sviluppo.	
8° Conferenza delle Parti (COP 8) - Nuova Delhi, India. 23 Ottobre-1 novembre 2002	
L'incontro COP 8 ha affrontato la questione delle metodologie di misurazione delle emissioni dei gas ad effetto serra, sottolineando, ancora una volta, la necessaria collaborazione e cooperazione tra Paesi ricchi e Paesi poveri nel coniugare la lotta al cambiamento climatico e lo sviluppo economico e sociale.	

Box 1 – Le tappe della negoziazione internazionale

I nodi alla base del dibattito internazionale in corso, dunque, si possono riassumere nella necessità di:

- migliorare le azioni di adattamento ed i relativi metodi attuativi, includendo la cooperazione internazionale in coerenza con gli indirizzi previsti dalla Convenzione. La scelta delle azioni da adottare deve essere fatta sulla base di alcuni indicatori che tengano conto della realtà del Paese, dell'ecosistema e del coinvolgimento della popolazione, secondo un approccio trasparente e partecipativo, sulla base della “migliore” scienza disponibile, integrando l'adattamento nelle politiche ed azioni di rilievo sociale, economico ed ambientale;
- migliorare le azioni di mitigazione e le relative misure, attraverso l'assunzione di impegni di riduzione delle emissioni di gas serra per i Paesi industrializzati e la realizzazione di azioni di mitigazione (NAMAs – National Appropriate Mitigation Actions) per i Paesi in via di sviluppo, il tutto concordemente coi limiti sull'innalzamento delle temperature stabiliti dagli accordi. Per i Paesi in via di sviluppo, le azioni di mitigazione comprendono anche le azioni volte a ridurre le emissioni da deforestazione e degradazione forestale incrementandone così la centralità. Resta, infatti, alta l'attenzione sulle foreste per la riduzione delle emissioni e la promozione di meccanismi che mobilitano risorse finanziarie da Paesi industrializzati a Paesi in via di sviluppo. Il dibattito ruota sulla scelta dei diversi approcci da seguire incluso l'opportunità di coinvolgere il mercato per il raggiungimento degli obiettivi di mitigazione tenuto conto degli impatti economici e sociali;
- definire i finanziamenti in termini qualitativi e quantitativi da rendere disponibili nel breve e lungo periodo, attraverso analisi ed elaborazioni di metodologie che minimizzino i costi delle azioni. L'obiettivo è quello di garantire le risorse finanziarie e gli investimenti necessari per una piena applicabilità della Convenzione (art. 11) secondo il principio di responsabilità comuni ma differenziate. La realizzazione dell'articolo 4 della Convenzione, relativo al trasferimento tecnologico, richiede una pronta collaborazione tra i membri basata su principi di equità e redistribuzione delle responsabilità bilanciate alla realtà dei singoli Paesi. Infine, la capacità operativa istituzionale (capacity-building) è ritenuta essenziale per permettere ai Paesi in via di sviluppo di partecipare attivamente alla sfida dei cambiamenti climatici.

La Convenzione si basa sul “principio di responsabilità comuni ma differenziate”, nel senso che bisogna tener presente che il cambiamento climatico è un tema universale e deve essere affrontato in quanto tale da tutti gli Stati, e che i Paesi industrializzati sono coloro che hanno contribuito storicamente in misura maggiore al problema, e dunque sono coloro che oggi dispongono della maggior parte delle risorse necessarie a fronteggiarlo. Inoltre si fonda sul fondamentale riconoscimento dei suoi aderenti che il clima è una risorsa condivisa la cui stabilità è minacciata dalle emissioni, non solo industriali, di CO₂ e degli altri gas serra.

La Convenzione è un trattato internazionale di cooperazione che ha comportato la creazione di un'istituzione, denominata Conferenza delle Parti (Conference of Parties – COP), con lo scopo di supportare e dare indicazioni ai vari firmatari su come affrontare il problema del riscaldamento globale e dell'innalzamento delle temperature. La COP si riunisce una volta all'anno col compito principale di esaminare l'attuazione degli accordi già presi e deciderne di nuovi.

Dal momento dell'entrata in vigore, i Paesi firmatari si riuniscono annualmente in Conferenza delle Parti (COP) per promuovere e monitorare l'attuazione della Convenzione, oltre che per continuare le negoziazioni circa il modo più efficace di combattere i cambiamenti climatici. La Conferenza ha generato un forum istituzionale a livello globale nel quale poter trattare, dibattere e negoziare delle tematiche concernenti le principali problematiche ambientali mondiali; in molti casi, tuttavia, tale forum ha la caratteristica di non prevedere obblighi giuridici precisi e vincolanti in capo agli Stati firmatari.

E' certo, però, che le manifestazioni della prassi internazionale successiva all'adozione della Dichiarazione di Rio in cui vengono invocati, ribaditi o effettivamente applicati i suoi principi, sono davvero innumerevoli. Gli intenti ed i principi definiti a Rio de Janeiro prendono tuttavia corpo solamente con l'entrata in vigore del Protocollo di Kyoto, il 16 febbraio 2005.

3 Strumenti per un'analisi critica dei consumi

L'attenzione mondiale è orientata ad individuare una traiettoria per giungere alla stabilizzazione della concentrazione di CO₂ equivalente (450 ppm di CO₂ eq). In particolare, molti governi concordano sulla necessità di mantenere un aumento della temperatura al di sotto dei 2 °C rispetto ai livelli pre-industriali (con la possibilità di una sua revisione a valori più bassi), nonché sulla necessità di una riduzione sostanziale di emissioni al 2050 con il raggiungimento del picco di emissioni il “prima possibile”. Nonostante i numerosi accordi internazionali, non si è ancora raggiunta una visione condivisa tra i Paesi industrializzati e i Paesi in via di sviluppo, soprattutto per gli aspetti legati alla ripartizione degli obblighi di riduzione delle emissioni, alle modalità di coinvolgimento dei Paesi in Via di Sviluppo e ai finanziamenti.

Resta ancora molto lavoro da fare considerando che, nel frattempo, le emissioni globali di CO₂ del settore energia hanno fatto registrare nel 2010 un record pari a 30,6 Gt corrispondente ad un aumento del 5% rispetto al precedente record di 29,6 registrato nel 2008.

IPCC: Fourth Assessment Report

L'Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC) fornisce, nel suo Fourth Assessment Report (AR4) pubblicato nel 2007, un'accurata descrizione del sistema climatico e dell'incidenza delle attività antropiche sul sistema climatico stesso, una valutazione degli impatti dei cambiamenti climatici sul territorio, sugli ecosistemi e sulla salute, ed una indicazione dell'entità di riduzione delle emissioni di gas climalteranti al fine di prevenire pericolose interferenze antropiche con il sistema climatico (in ottemperanza all'articolo 2 della Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici).

L'utilizzo e l'adozione dei dati IPCC quale fonte di riferimento è svolta in quanto ritenuto una delle fonti più autorevoli ed organiche ed il Fourth Assessment Report rappresenta, ad oggi, l'ultima elaborazione di riferimento, in quanto il Fifth Assessment Report (AR5) sarà pubblicato solo nel 2014.

Il quadro della situazione, mostrato dall'AR4, evidenzia il seguente stato dell'arte:

- le osservazioni sulle variabili climatiche più rilevanti e le informazioni paleo-climatiche mostrano che è in atto un cambiamento del sistema climatico che non ha precedenti nella storia del nostro pianeta degli ultimi 800.000 anni;
- in Groenlandia ed nella calotta artica sono osservati degli ampi fenomeni di ritiro dei ghiacci che possono avere ripercussioni sulla crescita del livello dei mari;
- gran parte dell'aumento della temperatura media del pianeta è, molto probabilmente, dovuta alla crescita delle concentrazioni in atmosfera dei gas ad effetto serra (chiamati internazionalmente GHG - GreenHouse Gases);
- il trend attuale delle emissioni di gas serra, se non modificato, potrebbe indurre molti cambiamenti del sistema climatico, ovvero crescita delle temperature medie, aumento del ritiro dei ghiacciai e del livello del

mare ed aumento delle onde di calore; questi cambiamenti saranno, probabilmente, di intensità molto superiore a quelli osservati finora e avranno impatti negativi sulla disponibilità idrica, sugli ecosistemi, sulla produttività del settore agricoltura, sulle coste e sulla salute;

- il trend delle emissioni è crescente: i gas serra sono aumentati del 70% tra il 1970 e il 2004, e la crescita maggiore delle emissioni di GHG in questo periodo proviene dal settore energetico;
- l'impatto delle misure intraprese finora non è ancora tale da controbilanciare il suddetto trend di crescita;
- con le attuali politiche di mitigazione e pratiche di sviluppo sostenibile, le emissioni di GHG continueranno a crescere. Gli scenari SRES (senza mitigazione) prospettano che i combustibili fossili mantengano la loro posizione dominante nel mix energetico globale fino al 2030 ed oltre con un conseguente aumento delle emissioni di CO₂ dall'uso di energia dal 45% al 110% tra il 2000 e il 2030, delle quali circa i 2/3 provenienti dai Paesi non inclusi nell'Annex I.

Il Fourth Assessment Report dell'IPCC evidenzia inoltre che, per raggiungere differenti gradi di stabilizzazione in atmosfera delle concentrazioni di gas ad effetto serra, saranno necessari differenti sforzi di riduzione delle emissioni; in particolare, per arrivare alla stabilizzazione a 450 ppm di CO₂ eq., sarà necessaria una riduzione delle emissioni del 25-40% al 2020 e del 80-95% al 2050 per i Paesi industrializzati mentre per i Paesi in via di sviluppo sarà necessaria una sostanziale deviazione rispetto allo scenario business as usual . In più, evidenzia il potenziale delle politiche di mitigazione al 2030, in particolare le opportunità di mitigazione con costi netti negativi, che permetterebbero di ridurre le emissioni di circa 6 GtCO₂-eq/anno nel 2030. Tuttavia, per raggiungere questo potenziale si richiede il superamento delle barriere di carattere non economico. Come già detto, i principali driver della domanda energetica sono la popolazione, la performance economica, i prezzi delle commodities .

La popolazione mondiale crescerà secondo un tasso medio annuo dello 0,9%, passando da 6,7 miliardi del 2008 a 8,5 miliardi nel 2035. Nei Paesi non OECD, principalmente Asia ed Africa, la popolazione crescerà da 5,5 miliardi del 2008 a 7,2 miliardi nel 2035, secondo un tasso di crescita dell'1% annuo, incrementando così il loro peso sulla popolazione dall'82% all'85%, in special modo grazie ad India e Cina. La popolazione dei Paesi OECD, invece, aumenterà dello 0,4% annuo, con un maggior contributo proveniente dal Nord America, mentre la popolazione europea aumenterà leggermente.

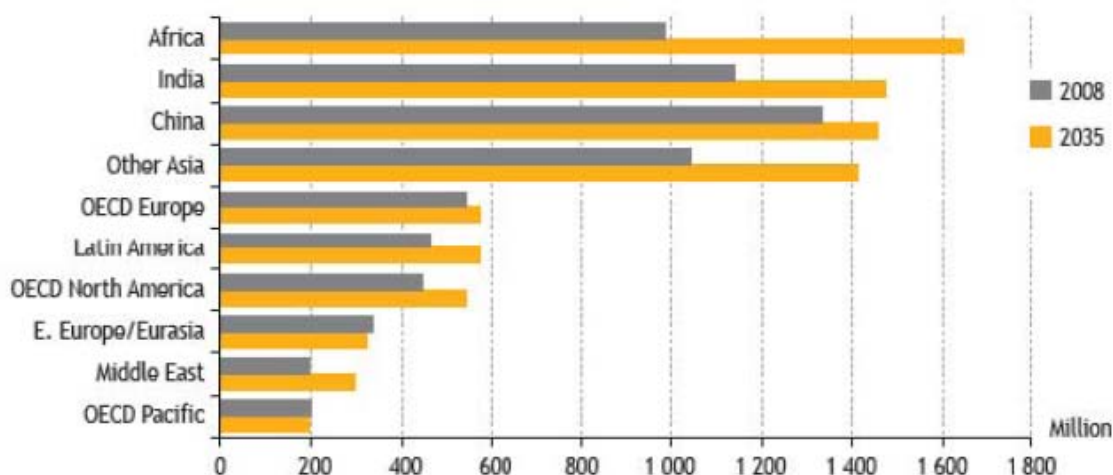


Figura 1 – Andamento della popolazione nelle principali regioni del pianeta (fonte: WEO, 2010, IEA)

Il rapporto annuale 2010 della World Meteorological Organization

La World Meteorological Organization ha pubblicato, a marzo 2011, il rapporto annuale 2010 sui dati climatici globali, del quale di seguito si illustrano le principali evidenze.

Anomalie nell'andamento della temperatura terrestre

L'anno 2010 (periodo gennaio–ottobre) è risultato l'anno più caldo dall'inizio delle registrazioni ufficiali disponibili a partire dal 1850, con un valore della temperatura media dell'aria superiore di $+0,55\text{ }^{\circ}\text{C}$ rispetto alla media del periodo 1961-1990, pari a $14\text{ }^{\circ}\text{C}$. Gli altri anni più caldi sono stati il 1998 ($+0,53\text{ }^{\circ}\text{C}$) e il 2005 ($+0,52\text{ }^{\circ}\text{C}$). In generale nel decennio 2001-2010 la temperatura globale è stata più calda di $0,46\text{ }^{\circ}\text{C}$ rispetto alla media del periodo 1961-1990.

Le temperature dell'aria alla superficie sono state più calde nelle maggior parte del mondo. Le anomalie più evidenti sono state registrate in Canada e Groenlandia ($+3\text{ }^{\circ}\text{C}$), in Nord Africa e Asia (Medio Oriente e Cina Occidentale) ($+1\text{ }^{\circ}\text{C}$ / $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$). Solo alcune Regioni hanno registrato temperature medie al di sotto della media, quali la Siberia Occidentale e Centrale, parte del Sud America, l'interno dell'Australia, l'Europa Nord Occidentale, la Cina Orientale, il Sud-Est degli USA.

Eventi meteorologici eccezionali

Il Pakistan nel 2010 ha sofferto per piogge monsoniche eccezionali, che hanno portato ad oltre 1500 vittime e all'evacuazione di 20 milioni di persone. L'evento è stato definito dalle Nazioni Unite come una delle più gravi crisi umanitarie della storia recente. Altre inondazioni eccezionali sono avvenute in Cina (1400 morti) ed in Corea.

Ondate di calore eccezionali hanno interessato la Russia Occidentale, con temperature che a Mosca sono risultate superiori di 7,6 °C rispetto alla media e che hanno causato la morte di circa 11.000 persone. L'ondata di calore è stata accompagnata da incendi di foreste e di terreni agricoli. Anche Giappone, Cina e Pakistan, sono state colpite dalle ondate di caldo, registrando la più alta temperatura in Asia dal 1942, pari a 53,5 °C.

La stagione invernale 2009-2010 ha visto anomalie climatiche nell'Europa Occidentale, con inverni freddi, tempeste con venti che in Francia hanno superato i 150 km/h causando molti danni. La siccità ha colpito parte del bacino dell'Amazzonia, la Cina Sud Occidentale e il Pakistan. La calotta marina artica ha raggiunto il 19 settembre 2010 la sua minima estensione storica, con una diminuzione di 2 milioni di km² rispetto alla media (6,6 milioni di km²).

4 La via verso il Protocollo di Kyoto

La dipendenza dell'UE dalle importazioni di energia, già al 50% nel 1997, sarebbe poi aumentata nei successivi anni, fino a raggiungere, in assenza di interventi, il 70% nel 2020. Ciò era soprattutto vero per il petrolio e il gas che provengono in misura crescente da zone molto distanti dall'Unione e spesso caratterizzate da rischi geopolitici. Si doveva pertanto prestare particolare attenzione alla sicurezza dell'approvvigionamento. Le energie rinnovabili come fonti interne, sarebbero quindi state importanti per ridurre le importazioni di energia con effetti positivi per la bilancia commerciale e la sicurezza dell'approvvigionamento. Cinque anni dopo la Conferenza di Rio (1992), il cambiamento climatico era quindi nuovamente al centro del dibattito internazionale in occasione della Terza Conferenza delle Parti della Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sul cambiamento climatico, tenuta a Kyoto nel dicembre 1997.

L'Unione europea aveva dunque riconosciuto l'urgente necessità di affrontare la questione del cambiamento climatico e aveva adottato per i paesi industrializzati una posizione di negoziato per una riduzione del 15% entro il 2010 (rispetto al livello 1990) delle emissioni dei gas ad effetto serra. Per facilitare il raggiungimento di questo obiettivo da parte degli Stati membri, la Commissione nella sua comunicazione sul cambiamento climatico, aveva individuato una serie di azioni energetiche per le rinnovabili.

Per garantire l'accordo del Protocollo di Kyoto è stata necessaria una lunga serie di negoziati: in primo luogo dovuti alla ben finanziata opposizione costituita dalle industrie del carbone, da quelle petrolifere e automobilistiche, che tutelavano i propri interessi commerciali. In secondo luogo dal rifiuto, perdurato per diversi anni, di alcuni stati di approvare il Protocollo.

Riprendendo i negoziati che si erano bloccati, nel 2001 circa 180 nazioni portarono a termine il decisivo Accordo di Bonn, che aprì le porte al completamento dei dettagli legali del Protocollo di Kyoto. I ministri di circa 180 nazioni, infatti, accettarono un pacchetto che includeva norme e procedimenti su questioni concernenti i paesi in via di sviluppo (finanziamento, trasferimento di tecnologie, aumento di capacità, adattamento agli impatti dei cambiamenti climatici), “meccanismi” di Kyoto (Commercio delle Emissioni, Attuazione Congiunta e Meccanismo dello Sviluppo Pulito), e “serbatoi di carbonio” (sinks). Nell'insieme, l'accordo di Bonn aveva creato l'architettura fondamentale perché i paesi mettessero in atto il Protocollo e intraprendessero i negoziati volti a diminuire ulteriormente le emissioni nel futuro.

Tra i punti principali dell'Accordo di Bonn, vi erano i seguenti:

- offriva un trattamento preferenziale all'energia pulita rinnovabile secondo il Meccanismo dello Sviluppo Pulito;
- chiedeva ai paesi industrializzati di “astenersi” dal promuovere l'energia nucleare nei paesi in via di sviluppo (in realtà, i governi avevano detto di no all'energia nucleare come mezzo accettabile per limitare l'inquinamento da carbonio);
- norme credibili per il commercio delle emissioni;
- un regime di adesione che includeva conseguenze obbligatorie/non facoltative ed esecutorie per quei paesi che non raggiungevano il proprio obiettivo.

Successivamente, la Conferenza di Marrakesh dell'ottobre del 2001, ebbe lo scopo di risolvere le relativamente poche questioni importanti non concluse a Bonn e di completare la trasposizione dell'Accordo di Bonn in un testo legale formale per le Nazioni Unite. In linea di principio, l'accordo di Marrakesh ha rimosso le ultime barriere alla ratifica del Protocollo di Kyoto, in particolar modo per il Giappone, Russia e Canada, che avevano potuto ottenere gli elementi che avevano indicato come cruciali per la propria ratifica.

In definitiva, sulla base degli accordi del 1997, il Protocollo di Kyoto è entrato in vigore dopo la ratifica del 55-esimo paese tra quelli inclusi nell'Annex I purché questi, complessivamente, coprissero almeno il 55% delle emissioni globali di gas serra nel 1990. Questi requisiti sono stati dunque soddisfatti con la ratifica da parte della Russia, che ha consentito al Protocollo di entrare in vigore dal 16 febbraio 2005; a partire da questa data il Protocollo di Kyoto è diventato il primo accordo multilaterale vincolante e con effetto sanzionatorio.

L'obiettivo, giuridicamente vincolante, è quello di ridurre le emissioni globali di gas serra, rispetto ai livelli rilevanti del 1990, di almeno il 5,2% entro il primo periodo di adempimento 2008-2012, con una verifica temporale intermedia prevista per il 1° gennaio 2006 (data di scadenza per la presentazione dei rapporti nazionali nei quali gli Stati dimostrano di essersi conformati agli impegni assunti in qualità di Stati parti contraenti del Protocollo). A questo dovrà seguire un secondo periodo di attuazione che va dal 2012 al 2017. Una delle principali caratteristiche del Protocollo è la distinzione dei Paesi in fasce. Esso impegna con accordo vincolante i Paesi industrializzati inclusi nell'Annex I (quindi responsabili della stragrande maggioranza delle emissioni e tenuti a ridurre le loro emissioni complessive entro il 2012) e i Paesi in via di transizione (per i quali sono stabiliti tetti massimi di emissione, talora superiori ai livelli di emissione misurati nel 1990); mentre, per il principio di equità¹⁵, non prevede alcuna limitazione per i Paesi in via di sviluppo, a cui è riconosciuto il diritto di seguire un proprio sviluppo industriale per evitare di frapporre ulteriori barriere alla loro crescita economica. Un punto, quest'ultimo, molto dibattuto e che trova ancora oggi il disaccordo di alcuni Paesi riguardo l'esclusione dagli impegni dei grandi paesi emergenti come Asia, India e Cina.

Per ciascun Paese dei primi due gruppi, nell'ambito del Protocollo è stata data la possibilità di agire anche mediante un approccio "di gruppo", utilizzato dall'Unione Europea, alla quale è stata attribuita una percentuale di riduzioni pari all'8%. Attraverso una successiva distribuzione delle quote concordata tra gli Stati membri dell'Unione, l'Italia si è impegnata a ridurre del 6,5% le proprie emissioni per il periodo di adempimento 2008-2012, che in termini assoluti equivale alla riduzione delle emissioni di circa 93 milioni di Tonnellate di CO₂ eq. Invece, per alcuni Paesi dell'Annex I non è prevista alcuna riduzione delle emissioni, ma solo una stabilizzazione; oppure per altri, è previsto che possono aumentare le loro emissioni rispetto al 1990, come la Norvegia fino all'1%, l'Australia fino all'8% e fino al 10% l'Islanda.

I gas serra considerati dal Protocollo di Kyoto, ai fini delle riduzioni di emissione, sono sei: anidride carbonica (CO₂), metano (CH₄), protossido di azoto (N₂O), idrofluorocarburi (HFC), perfluorocarburi (PFC), esafluoro di zolfo (SF₆).

In relazione alle emissioni dei gas serra, il protocollo fissa il 1995 come l'anno di riferimento delle emissioni e definisce per il periodo fino al 2005, quello valido a concretizzare i progressi nell'adempimento degli

impegni assunti e a fornirne le prove. Dunque, considerando che i paesi firmatari dovevano dimostrare i progressi conseguiti nel raggiungimento dei propri obiettivi entro il 2005, era di vitale importanza che i governi agissero il più in fretta possibile per rendere operativo il trattato.

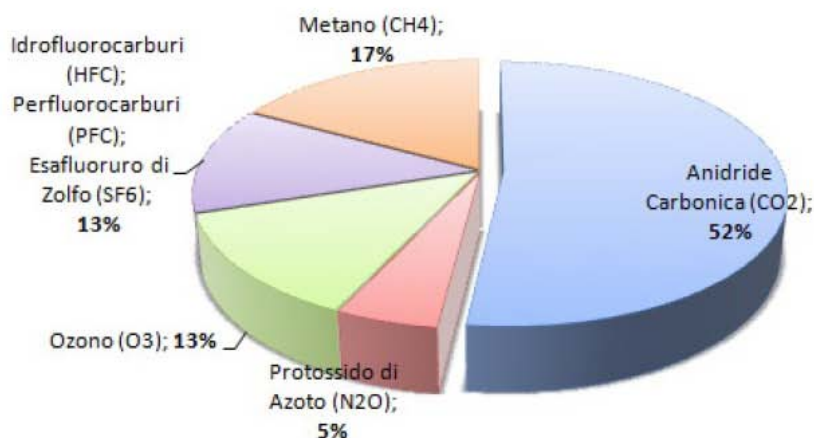


Figura 2 – Contributo percentuale al riscaldamento globale per i principali gas a effetto serra (IPCC, 2001)

Al termine del periodo di valutazione, la relazione della Commissione al Parlamento Europeo e al Consiglio constata che i paesi dell'Unione Europea hanno rispettato gli obiettivi fissati dal protocollo di Kyoto: le loro emissioni di gas a effetto serra sono diminuite del 12,5% rispetto ai livelli del 1990 (anno di riferimento), mentre la crescita economica non ha subito rallentamenti.

Nel periodo 1990-2007, la Commissione ha registrato una diminuzione delle emissioni pari al:

- 7% nel settore dell'energia;
- 11% nei processi industriali (produzione di acido adipico, alocarburi ed esafluoruro di zolfo);
- 11% nell'agricoltura (diminuzione dei capi di bestiame allevati e minor utilizzo di fertilizzanti minerali e di effluenti organici);
- 39% nel settore dei rifiuti (emissioni di metano prodotte dalle discariche controllate).

Tuttavia, la Commissione nota un aumento delle emissioni nel settore dei trasporti pari al 4%.

Per raggiungere gli obiettivi, il Protocollo di Kyoto prevede due tipi di strumenti:

- **POLITICHE E MISURE:** quegli interventi previsti dallo Stato attraverso programmi attuativi specifici realizzati all'interno del territorio nazionale (miglioramento dell'efficienza energetica, promozione di forme di agricoltura sostenibili, sviluppo di fonti di energia rinnovabili, ecc.);

- **MECCANISMI FLESSIBILI:** strumenti che danno la possibilità di utilizzare a proprio credito attività di riduzione delle emissioni effettuate al di fuori del territorio nazionale, e cooperare con le altre parti contraenti (scambi di esperienze o di informazioni, coordinamento delle politiche nazionali attraverso i diritti di emissione, l'attuazione congiunta e il meccanismo di sviluppo pulito).

4.1 I meccanismi di flessibilità: CDM, JI, ETS

I negoziati in cui vengono definiti nel dettaglio i meccanismi flessibili e altre problematiche rimaste in sospeso a Kyoto, partono con la Conferenza delle Parti dell'Aja (COP6), continuano a Bonn (COP6-bis), fino ad arrivare a Marrakech. Qui viene approvato un pacchetto di decisioni di attuazione pratica conosciute con il nome di "Accordi di Marrakech". I loro principi fondamentali sono indicati in termini generali nel Protocollo di Kyoto, mentre le specifiche attuative sono state definite con gli accordi di Marrakech durante la settima Conferenza delle Parti e con la loro approvazione formale al COP/MOP1 di Montreal hanno ottenuto pieno status di ufficialità.

Sulla base del principio del Protocollo, secondo cui non è importante dove sono attuate le riduzioni di emissioni in quanto i cambiamenti climatici sono un fenomeno globale ed ogni riduzione delle emissioni di gas serra è efficace indipendentemente dal luogo del pianeta nel quale viene realizzata, il Protocollo ha predisposto tre strumenti particolari denominati Meccanismi flessibili. Tali meccanismi (il mercato delle emissioni, l'implementazione congiunta e il meccanismo di sviluppo pulito), dovrebbero contenere i costi derivanti dall'attuazione degli obiettivi del Protocollo, e mirano ad assegnare un valore economico alle misure per la riduzione delle emissioni: quindi, dovrebbero aiutare le Parti ad adempiere ai propri obblighi di riduzione nel modo economicamente più vantaggioso possibile, attraverso una combinazione di misure nazionali, investimenti e scambi internazionali.

Tuttavia, l'adozione dei meccanismi, deve essere supplementare alle azioni nazionali, e le azioni nazionali dovranno per tanto costituire un elemento significativo dello sforzo compiuto da ognuna delle Parti al fine di adempiere agli impegni quantificati di limitazione e riduzione delle emissioni.

L'appropriato utilizzo dei meccanismi flessibili è garantito dalla pubblicità e dalla trasparenza delle seguenti operazioni: la raccolta di dati ed informazioni concernenti la quantità di emissioni prodotta dagli Stati contraenti, l'adozione di misure in conformità a quanto predisposto dal Protocollo, l'effettivo utilizzo dei meccanismi flessibili.

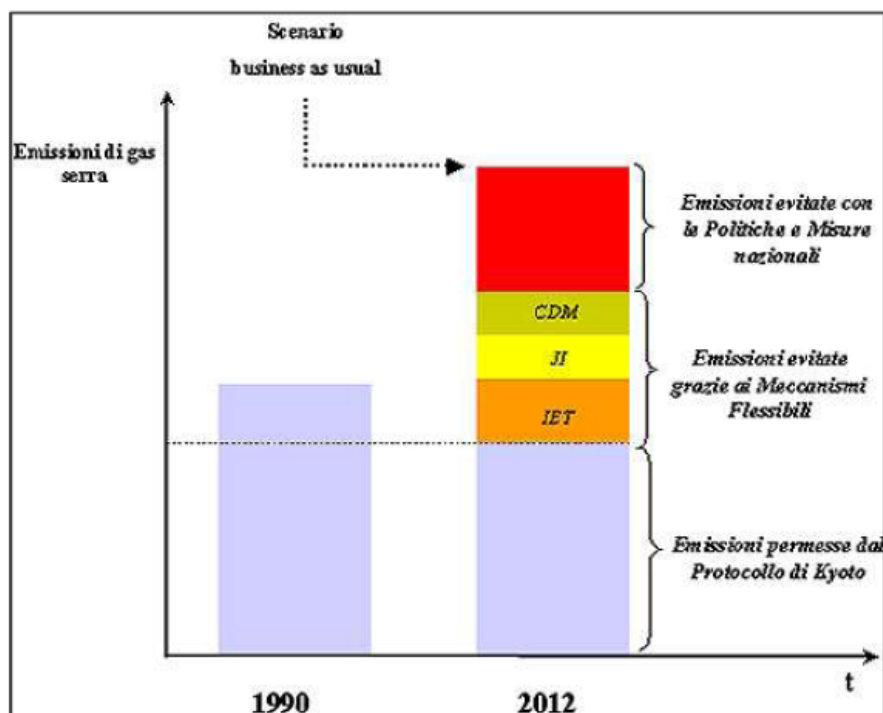


Figura 3 – strumenti attuativi del Protocollo di Kyoto

La raccolta di dati ed informazioni deve essere condotta inizialmente dagli Stati inclusi nell’Allegato I della Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici, i quali presentano un rapporto al fine di illustrare il funzionamento del proprio sistema nazionale, dotato di un apposito registro, indicando in tale documento la quantità di emissioni prodotta affinché possa essere assegnata loro, singolarmente, la quota limite di emissioni per il primo periodo di adempimento al Protocollo (assigned amount). Il registro nazionale contiene informazioni relative alle quote che lo Stato detiene sotto forma di AAU, RMU, ERU e CER (vedi oltre), ed elementi di valutazione atti a supportare la pianificazione delle politiche nazionali consistenti nel disporre delle unità di scambio in senso conservativo (retirement) o di esclusione (cancellation).

Joint Implementation JI

E’ un meccanismo di collaborazione che consente ad un Paese industrializzato, incluso nell’Allegato I della Convenzione quadro sui cambiamenti climatici, di finanziare un progetto atto a ridurre le emissioni di gas ad effetto serra in un altro Paese ad economia in transizione (non incluso nell’Allegato I), ottenendo in tal modo dei crediti di emissione (Emissions Reductions Units, ERUs), che esso può utilizzare per rispettare il proprio limite di emissioni, in conformità con quanto disposto nell’Allegato B del Protocollo (art. 6 del Protocollo di Kyoto). Lo scopo del meccanismo di JI è di ridurre il costo complessivo d’adempimento degli obblighi di Kyoto permettendo l’abbattimento delle emissioni lì dove è economicamente più conveniente. Poiché la JI coinvolge paesi che hanno dei limiti alle emissioni, i crediti generati dai progetti sono sottratti dall’ammontare di permessi di emissione inizialmente assegnati al paese ospite, chiamati Assigned Amount Units (AAUs).

Clean Development Mechanism CDM

E' un meccanismo assimilabile per certi aspetti alla JI. Il fattore che lo contraddistingue è correlato alla tipologia dei soggetti partecipanti, ovvero un'azienda privata od un soggetto pubblico di un Paese industrializzato (incluso nell'Allegato I della Convenzione quadro sui cambiamenti climatici che realizza progetti a tecnologia pulita nei Paesi in via di sviluppo, per il conseguimento di un duplice obiettivo: supportare i primi nel raggiungere e rispettare i propri limiti di emissione (indicati nell'Allegato B del Protocollo), e promuovere nei secondi un sostenibile sviluppo economico (art. 12 del Protocollo di Kyoto). La differenza fra la quantità di gas serra emessa realmente e quella che sarebbe stata emessa senza la realizzazione del progetto (scenario di riferimento o baseline), è considerata emissione evitata. Il Paese industrializzato riceverà dunque un ammontare di crediti di emissione pari a tale differenza, chiamati Certified Emissions Reductions (CERs) , che possono poi essere venduti sul mercato e/o accumulati. I settori nei quali possono essere presentati i progetti inseriti nel quadro del CDM sono l'efficienza energetica, l'energia rinnovabile, la riduzione delle emissioni antropogeniche di gas ad effetto serra.

Emission Trading Scheme ETS

Consiste nell'istituzione di un mercato di permessi di emissione, in virtù del quale gli Stati, ed eventualmente un'azienda, possono acquistare o vendere "riduzioni virtuali" di emissioni da altri Stati, in modo da allineare le proprie emissioni con la quota assegnata e quindi ridurre le proprie emissioni ad un livello maggiore di quello richiesto loro dal Protocollo. Il soggetto interessato venderà tali permessi quando le proprie emissioni sono al di sotto della quota assegnata, mentre li comprerà quando le proprie emissioni sono al di sopra della quota assegnata. Il meccanismo può essere adottato solo dai Paesi per i quali il Protocollo ha stabilito obiettivi di riduzione o limitazione.

Il centro nevralgico della legislazione atta all'implementazione del Protocollo di Kyoto nella Comunità europea è rappresentato dalla Direttiva 2003/87/CE del Parlamento europeo che istituisce un sistema per lo scambio di emissioni di gas a effetto serra. Il sistema europeo di scambio delle emissioni prevede due fasi: la prima fase è iniziata e terminata nel lasso di tempo 1° Gennaio 2005 /31 Dicembre 2007; la seconda, è partita nel 2008 e finirà nel 2012. Durante il primo periodo di adempimento del Protocollo di Kyoto (2008-2012), il sistema europeo di scambio delle quote di emissione è entrato nella sua seconda fase e si è integrato al sistema internazionale di commercio di quote previsto dal Protocollo. In questo periodo le quote europee di allocazione, European Union Allowance (EUAs) sono state convertite in unità di emissioni assegnate, Assigned Amount Unit (AAUs) previste dal Protocollo di Kyoto.

4.2 Bilancio al 2012: la situazione italiana

Nel corso degli ultimi anni le grandi imprese italiane sono state esentate dai limiti imposti dal Protocollo di Kyoto grazie ai permessi (pari a 2,5 milioni di euro) distribuiti gratuitamente dal governo. In Italia, infatti, le emissioni di CO₂ sono state così elevate da far dubitare (o aver fatto dubitare) della possibilità di rispettare il Protocollo di Kyoto. Ciò emerge anche dal recente rapporto della Commissione dell'Unione Europea in relazione agli anni 2008-2012.

Insieme a noi anche Austria, e Lussemburgo non sembrano in grado di rispettare gli impegni precedentemente assunti.

Per un lungo periodo, infatti, l'Italia ha sottovalutato l'importanza degli impegni sottoscritti a Kyoto. Ma negli ultimissimi anni la tendenza è cambiata, come confermano le normative e le misure presentate nell'ultima legge finanziaria, anche se la rapida riduzione delle emissioni nel periodo 2008/2009 è imputabile soprattutto alla crisi economica: nello stesso lasso di tempo si è infatti registrata una lesione del PIL di 5 punti percentuali.

Ma, in assenza di interventi più incisivi, il forte ritardo accumulato difficilmente permetterà all'Italia di raggiungere il traguardo del 6,5%. A partire dal 2005 sono state messe in atto una serie di misure finalizzate alla riduzione delle emissioni di gas serra. In particolare si fa riferimento alle misure di incentivazione del fotovoltaico, di promozione dell'efficienza energetica negli edifici, della cogenerazione e dell'utilizzo dei biocombustibili nei trasporti, agli incentivi previsti dalla legge finanziaria 2007 ed alle misure di incentivazione a carattere più strutturale previste dalla legge finanziaria 2008. Meritano inoltre di essere citati anche i nuovi obiettivi di risparmio energetico negli usi finali recentemente adottati.

Dunque, gli ultimi dati provenienti dall'Italia ci mostrano una situazione abbastanza positiva per il nostro Paese dal punto di vista dei risultati raggiunti rispetto agli obiettivi previsti dal protocollo di Kyoto. L'apposita commissione dell'Unione Europea dedicata allo studio dei cambiamenti climatici ha affermato infatti che potrebbe comunque essere rispettato l'obiettivo europeo prefissato (-8%) per tagliare l'inquinamento dell'aria e le emissioni di anidride carbonica, nonostante le mancanze dei tre paesi (Austria, Lussemburgo e Italia) che infatti, dovrebbero muoversi più concretamente per assicurare i risultati imposti dal protocollo di Kyoto. I dati attuali si intendono ancora come ufficiosi, e saranno resi ufficiali (e comunicati come tali) solo a 2012 inoltrato. Da quel momento, la necessità di agire per ridurre il nostro inquinamento atmosferico sarà assolutamente reale: il rischio se ciò non dovesse essere fatto comprende importanti sanzioni a livello paese. Al momento quindi i risultati sembrano positivi, ma l'Italia deve comunque impegnarsi nel corso del corrente anno per ottenere valori ancora migliori.

A livello europeo, nella tabella 2.2 è illustrato l'andamento delle emissioni di gas serra verificatosi nell'aggregato UE-15 dal 1990 al 2008, comparato con l'obiettivo di riduzione previsto dal Protocollo di Kyoto, nonché l'andamento delle emissioni di gas serra nei vari Paesi membri dell'Unione Europea a 27 Stati e il relativo obiettivo assegnato dal Protocollo di Kyoto. I dieci nuovi Stati membri entrati nel 2004 nell'Unione Europea, ad eccezione di Cipro e Malta, hanno obiettivi di riduzione specifici da perseguire, stabiliti dal Protocollo di Kyoto, che non rientrano nell'obiettivo congiunto dell'UE-15.

Stato membro	Anno base (Mt)	2008 (Mt)	Trend 2007-2008 (Mt)	Trend 2007-2008 (%)	Trend 1990-2008 (%)	Obiettivo di Kyoto 2008-2012 e EU Burden sharing (%)
Austria	79,0	86,6	-0,3	-0,4	9,6	-13,0
Belgio	145,7	133,3	3,0	2,3	-8,6	-7,5
Danimarca	69,3	63,8	-3,0	-4,5	-7,9	-21
Finlandia	71,0	70,1	-7,9	10,2	-1,2	0,0
Francia	563,9	527,0	-3,2	-0,6	-6,5	0,0
Germania	1232,4	958,1	0,7	0,1	-22,3	-21,0
Grecia	107,0	126,9	-5,0	-3,8	18,6	25,0
Irlanda	55,6	67,4	-0,2	-0,3	21,3	13,0
Italia	516,9	541,5	-11,1	-2,0	4,8	-6,5
Lussemburgo	13,2	12,5	-0,30	-2,3	-5,1	-28,0
Paesi Bassi	213,0	206,9	0,0	0,0	-2,9	-6,0
Portogallo	60,1	78,4	-1,5	-1,9	30,3	27,0
Spagna	289,8	405,7	-32,9	-7,5	40,0	15,0
Svezia	72,2	64,0	-2,2	-3,3	-11,3	4,0
Regno Unito	776,3	628,2	-11,8	-1,8	-19,1	-12,5
EU-15	4265,5	3970,5	-75,7	-1,9	-6,9	-8,0
Bulgaria	132,6	73,5	-2,4	-3,2	-44,6	-8,0
Cipro	Non applicabile	10,2	0,4	3,7	Non applicabile	Non applicabile
Repubblica Ceca	194,2	141,4	-6,1	-4,1	-27,2	-8,0
Estonia	42,6	20,3	-1,8	-8,2	-52,5	-8,0
Ungheria	115,4	73,1	-2,6	-3,4	-36,6	-6,0
Lettonia	25,9	11,9	-0,4	-3,1	-54,1	-8,0
Lituania	49,4	24,3	-1,1	-4,5	-50,8	-8,0
Malta	Non applicabile	3,0	-0,1	-1,8	Non applicabile	Non applicabile
Polonia	563,4	395,6	-4,3	-1,1	-29,8	-6,0
Romania	278,2	145,9	-6,7	-4,4	-47,6	-8,0
Slovacchia	72,1	48,8	1,1	2,3	-32,2	-8,0
Slovenia	20,4	21,3	0,7	3,5	4,6	-8,0
EU-27	Non applicabile	4939,7	-99,0	-2,0	Non applicabile	Non applicabile

Tabella 1 – Andamento delle emissioni di gas serra in UE e distanza dall'obiettivo di Kyoto (EEA, 2010)

Il meccanismo sanzionatorio definito all'interno del processo attuativo del Protocollo di Kyoto, si propone di facilitare, promuovere e rafforzare il rispetto degli impegni fissati dal Protocollo, assicurando al tempo stesso trasparenza e credibilità al sistema. Essendo il primo strumento messo in atto per raggiungere gli obiettivi della Convenzione e viste anche le difficoltà nel raggiungere un accordo tra le Parti, si è scelta una linea strategica non orientata a sanzionare economicamente gli Stati in maniera diretta ma a responsabilizzarli in vista, anche, dei periodi di impegno successivi. Quindi, anche se il Protocollo di Kyoto non prevede sanzioni economiche dirette, il mancato raggiungimento degli obiettivi risulta particolarmente oneroso in termini di credibilità internazionale, appesantimento degli obblighi nel secondo periodo di impegno e il rischio di non partecipare all'Emissions Trading.

5 Gli esiti incerti degli accordi internazionali post-Kyoto

Il discorso sul dopo Kyoto è stato rilanciato a dicembre 2007, durante la **Conferenza di Bali** i cui risultati nel loro complesso sono stati valutati positivamente. Nel corso dell'evento è stata adottata la cosiddetta "Roadmap", ovvero una serie di obiettivi che avrebbero dovuto portare alla stesura di un accordo su nuovi obblighi post-2012 entro la COP 15 di Copenhagen. Come risultato di interminabili negoziati fra le parti, va segnalato l'adesione alla Roadmap degli Stati Uniti e dei Paesi ad economia emergente quali Cina ed India, le cui emissioni sono in continua crescita. Nonostante nel documento firmato non sia stata fatta menzione dei limiti di emissione di gas serra, sono stati definiti alcuni punti fondamentali, come la definizione di un "fondo di adattamento" per attuare l'appoggio tecnologico e finanziario dei paesi sviluppati verso i Paesi ad economia emergente ed in via di sviluppo, decisivo per ridurre le loro emissioni di gas serra.

La Conferenza che doveva portare a compimento il processo avviato due anni fa ("Roadmap di Bali") con l'obiettivo di definire un accordo mondiale onnicomprensivo sui cambiamenti climatici per il periodo successivo al 2012, si è conclusa con l'Accordo di Copenhagen.

Dal 7 al 18 dicembre 2009 si è tenuta a Copenhagen la 15-esima Conferenza Onu sui cambiamenti climatici, chiamando l'intera comunità internazionale a negoziare un nuovo trattato per assumere misure in grado di fermare il riscaldamento globale, quindi di limitare l'aumento del surriscaldamento del pianeta a +2°C rispetto ai livelli preindustriali. L'accordo avrebbe dovuto sostituirsi al Protocollo di Kyoto, in scadenza nel 2012, con l'ambizione di riuscire ad estendere gli obiettivi di Kyoto al 2020, o al 2050, e impegnando in maniera vincolante anche quelle nazioni che non avevano aderito al Protocollo di Kyoto (come gli Stati Uniti), o che erano state esentate dai tagli alle emissioni di gas serra per non frenarne la crescita (come Cina, India, Brasile).

Il vertice, tuttavia, si è chiuso ufficialmente con un'intesa che ha lasciato non poche perplessità. L'accordo è stato riconosciuto con una decisione che letteralmente "prende nota" della sua esistenza, ma non lo adotta formalmente. Di conseguenza, assume il valore di una lettera di intenti che i Paesi sono liberi di sottoscrivere o meno. Quindi, l'accordo raggiunto non contiene nessun impegno quantificato sui tagli di emissione di CO₂, ma solo l'intesa che i paesi industrializzati definiranno a breve, per iscritto, i propri impegni di riduzione dei gas serra per il 2020.

Tuttavia, come risultato soddisfacente, il processo negoziale del summit di Copenhagen ha permesso ai due protagonisti della scena dell'inquinamento globale, Stati Uniti e Cina (che insieme totalizzano il 40% delle emissioni globali), di essere coinvolti nel processo di stabilizzazione del clima.

Dunque, l'Accordo di Copenhagen non ha natura vincolante, ma stabilisce alcuni provvedimenti operativi e immediati in relazione ai "pilastri" del BAP (Piano d'Azione di Bali - Bali Action Plan), fornendo anche indicazioni per le negoziazioni future. In particolare:

- *VISIONE CONDIVISA*: riconosce l'evidenza scientifica che per raggiungere l'obiettivo ultimo della Convenzione, l'aumento della temperatura media mondiale non dovrebbe superare i 2°C rispetto ai valori pre-industriali, e che il picco delle emissioni di gas serra mondiali e nazionali dovrebbe verificarsi al più presto, ma non prevede misure specifiche in tal senso se non un rafforzamento dell'azione congiunta nel lungo termine.
- *MITIGAZIONE*: i Paesi industrializzati non hanno formulato nuovi impegni vincolanti di riduzione delle emissioni, ma si sono impegnati a raggiungere obiettivi quantificati nel 2020, mentre i Paesi in via di sviluppo (PVS) intraprenderanno adeguate azioni di mitigazione; gli impegni presi saranno misurati, rendicontati e verificati sia per i Paesi industrializzati che per i PVS; riconoscendo l'importanza del ruolo delle foreste nella mitigazione, si concorda sulla necessità di incentivare le azioni di riduzione delle emissioni da deforestazione e degrado delle foreste e la conservazione, la gestione sostenibile ed il mantenimento delle foreste (Reducing Deforestation and forest Degradation REDD-plus) attraverso l'istituzione immediata di un meccanismo per la mobilitazione di finanziamenti da parte dei Paesi industrializzati; si dichiara, inoltre, che potranno essere perseguiti "vari approcci", comprese opportunità di mercato, per migliorare l'efficienza economica delle azioni di mitigazione.
- *ADATTAMENTO*: viene riconosciuta l'esigenza di stabilire un "Programma di adattamento internazionale" per far fronte agli impatti dei cambiamenti climatici; i paesi industrializzati dovranno fornire ai PVS le risorse finanziarie, tecnologiche e di capacity building per far fronte alle loro necessità di adattamento, con speciale attenzione ai Paesi particolarmente vulnerabili, come le piccole Isole in via di sviluppo e i Paesi Africani;
- *FINANZIAMENTI*: l'accordo prevede un sostegno finanziario dei paesi industrializzati ai paesi in via di sviluppo per aiutarli a mettere in atto politiche efficaci per quanto riguarda l'adattamento, la mitigazione e la cooperazione tecnologica. Si parte con l'impegno di 30 miliardi di dollari l'anno per il periodo 2010-2012, mediante i "finanziamenti rapidi" (fast start funding), sino a raggiungere 100 miliardi di dollari annui entro il 2020, purché essi intraprendano azioni significative di mitigazione che possano essere verificate e controllate con assoluta trasparenza.
- *TECNOLOGIE*: sarà istituito un "Technology Mechanism", ossia uno strumento di coordinamento finalizzato a facilitare il trasferimento tecnologico a supporto delle azioni di mitigazione.

L'Accordo prevede, infine, una valutazione della sua stessa attuazione nel 2015, compreso un possibile rafforzamento dell'obiettivo di lungo termine, anche in relazione ad un limite dell'aumento della temperatura media mondiale a 1.5 °C.

A dicembre 2010 il trauma di Copenhagen non era stato ancora completamente superato, tanto che in Messico si era arrivati con un impatto mediatico notevolmente inferiore rispetto al precedente anno (si ricorda che al summit del dicembre 2009 avevano partecipato oltre 120 capi di Stato e di governo, compreso il presidente Usa, Barack Obama e il premier cinese, Wen Jiabao) e con un approccio più disilluso dal punto di vista politico, tanto che la ricerca di un accordo vincolante era apparsa sin dall'inizio rimandata al vertice dell'anno successivo. Le premesse della **Conferenza di Cancun** sono state, infatti, pesantemente condizionate dal rallentamento del negoziato internazionale registrato nella capitale danese, con una conseguente perdita di priorità nei confronti del raggiungimento di un accordo globale.

Quindi la Conferenza di Cancun si era posta l'obiettivo meno ambizioso di raggiungere un "pacchetto bilanciato di decisioni" in modo da non interrompere il processo negoziale ed aprire le porte ad un suo effettivo rilancio nella prevista prossima Conferenza di Durban nel 2011. Il "pacchetto bilanciato", come è stato chiamato, è un documento contenente una lista di dichiarazioni d'intenti generali ma senza alcun impegno operativo. Su Kyoto, e quindi sulla decisione che doveva proseguire anche dopo la sua scadenza naturale del 2012, si riconosceva la necessità di trovare un accordo su come ripartire gli impegni di riduzione aggiuntivi non superando il tetto di 44 GT nel 2020, e dunque, come raccomandato dall'IPCC, di ridurre le emissioni di gas a effetto serra dal 25 al 40% al 2020. Raggiungere l'obiettivo ultimo della Convenzione di mantenere un aumento della temperatura media superficiale rispetto ai livelli preindustriali di 2 °C, significava la conseguente stabilizzazione delle concentrazioni di CO₂-eq. a 450 ppm, sebbene da più Paesi era caldeggiato un obiettivo di maggiore cautela per gli impatti ambientali pari ad un aumento di 1,5 °C ed una stabilizzazione di CO₂-eq. a 350 ppm.

Sul fronte del testo generale, il cosiddetto pacchetto condiviso confermava lo stanziamento immediato di 30 miliardi per il periodo 2010-2012 (definito a Copenaghen e facente parte dei finanziamenti "fast start") a favore dei Paesi in via di sviluppo, per poi procedere allo stanziamento complessivo di 100 miliardi di dollari l'anno fino al 2020. Da rilevare, inoltre, la creazione di un fondo verde (Green Climate Fund), da gestire attraverso un comitato di 40 membri, 15 dei Paesi industrializzati e 25 dei Paesi in via di sviluppo, con lo scopo di raccogliere fondi dai Paesi ricchi e investirli a favore delle nazioni maggiormente colpite dagli effetti dei cambiamenti climatici (in particolare, veniva data attenzione al sostegno degli sforzi per ridurre la deforestazione).

Da considerare che, a favore dei testi menzionati, si erano espressi anche Usa, India, Cina e Giappone. Questo aspetto assume un valore politico importante soprattutto rispetto alla discussione sul secondo periodo di Kyoto. Il tavolo negoziale aveva sempre visto una accesa polemica tra chi sosteneva che Kyoto non fosse più necessario e chi aveva sempre considerato il trattato nemmeno negoziabile (Cina, India, Brasile, Sudafrica). Tra i primi, in particolare, spiccava la posizione del Giappone, che aveva sempre evidenziato come i 40 paesi industrializzati che si erano sottoposti ad impegni giuridicamente vincolanti fossero

responsabili solo del 27% delle emissioni mondiali, e quella della Russia, che si era sempre espressa nel voler confermare i propri obiettivi di riduzione (dal 15 al 25 per cento al 2020, rispetto ai livelli del '90).

Con queste premesse appare evidente che il risultato finale della conferenza di Cancun è da considerarsi complessivamente migliore rispetto a quanto è accaduto a Copenhagen. Il vertice, infatti, si è chiuso con un accordo di compromesso accettato da tutti, grandi potenze incluse (con il solo voto negativo della Bolivia, che ha criticato il risultato perché ritenuto troppo debole ed insufficiente a combattere in maniera efficace i cambiamenti climatici che, però, potrebbe avere un peso giuridico importante in quanto queste iniziative internazionali si dovrebbero concludere con una approvazione all'unanimità) e con lista di impegni, seppure non vincolanti, che contengono posizioni di principio ragionevoli su numerosi temi e, soprattutto, condivise anche da quei paesi che, nell'ambito del negoziato internazionale sul clima, avevano sempre anteposto i propri interessi particolari rispetto a quelli collettivi.

Gli ultimi accordi internazionali delle Nazioni Unite sul clima e sui cambiamenti climatici si stringono nel dicembre 2011 a Durban. La **Conferenza di Durban** avrebbe dovuto rappresentare un'evoluzione dei patti stabiliti dal Protocollo di Kyoto (che non tutti gli Stati mondiali hanno sottoscritto) anche alla luce dell'evoluzione del riscaldamento globale e delle conoscenze scientifiche, prevedendo tuttavia una serie di azioni da sviluppare nei prossimi anni e non immediate.

Dopo una estenuante trattativa, le parti hanno deciso per l'istituzione della cosiddetta “Durban Platform” che apre la strada ad un nuovo gruppo di lavoro che, a partire dalla prossima Conferenza delle Parti in Qatar (COP 18), dovrà studiare la soluzione giuridica migliore per il coinvolgimento di tutti i paesi della comunità internazionale, Stati Uniti inclusi, nella sfida contro il riscaldamento globale.

A conclusione del summit, è stato raggiunto un duplice risultato: da una parte è stato definito un accordo in cui per la prima volta i paesi sviluppati (inclusi gli Stati Uniti) e i paesi in via di sviluppo più importanti si impegnano a negoziare un nuovo accordo finalizzato alla riduzione delle emissioni climalteranti a livello globale e individuale, dall'altro lo si riconosce come un processo negoziale con forza giuridica. Tuttavia, l'accordo rimanda al 2020 una eventuale riduzione effettiva delle emissioni globali dei gas a effetto serra, quindi il cosiddetto Kyoto 2 passerà per un regime transitorio prima di giungere ad un nuovo accordo globale cui dovranno prendere parte, forse, anche le maggiori potenze mondiali.

E' rimandato al prossimo summit anche la definizione del “Green Climate Found” per la mitigazione e l'adattamento dei paesi in via di sviluppo, con la conferma dell'impegno di mobilitare 100 miliardi di dollari all'anno entro il 2020; a tale scopo, il fondo prevede un nuovo meccanismo di flessibilità che adotta le regole per le attività di uso del suolo, cambio di uso del suolo e forestazione (LULUCF), introducendo un limite all'utilizzo da parte dei paesi industrializzati e, infine istituisce una serie di workshop di livello tecnico su vari temi in agenda (per esempio REDD).

5.1 Il ruolo della UE: obiettivi del Pacchetto 20-20-20

L'Unione Europea a 27 Stati è responsabile di circa l'11% delle emissioni mondiali di gas serra. Il Protocollo di Kyoto prevede, per l'UE-15 (i 15 Paesi aderenti alla UE negli anni 90), una riduzione delle emissioni di gas serra dell'8% rispetto ai livelli del 1990, da realizzarsi nel periodo 2008-2012. Il 23 gennaio 2008 la Commissione europea ha adottato il pacchetto di misure su clima ed energia, approvato nel dicembre 2008 dal Parlamento europeo e dal Consiglio, e successivamente adottato dal Consiglio il 6 aprile 2009. Il Pacchetto Clima-Energia 20-20-20 costituisce il portafoglio di provvedimenti operativi con cui l'UE conferma la volontà degli Stati Membri di continuare ad impegnarsi nel processo negoziale per la lotta ai cambiamenti climatici per il post-Kyoto, sottolineando l'obiettivo di limitare l'aumento globale della temperatura a +2 °C rispetto ai livelli pre-industriali. Tale pacchetto si inquadra nell'ambito dei negoziati preliminari della 15° Conferenza della Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (COP15) di Copenaghen, negoziati nei quali l'UE ha riaffermato la posizione di ridurre unilateralmente le emissioni del 20% entro il 2020 e, impegnandosi in caso di accordo internazionale, ad una riduzione rispettivamente del 30% e del 50% delle proprie emissioni rispetto ai livelli del 1990, progressivamente per il 2030 e il 2050.

Facendo riferimento alla scadenza del 2020, la strategia europea si esprime con tre diversi obiettivi:

- *emissioni di gas climalteranti, ridotte del 20%, secondo impegni già presi in precedenza (protocollo di Kyoto, ETS);*
- *aumento al 20% della quota di fonti rinnovabili nella copertura dei consumi finali (usi elettrici, termici e per il trasporto);*
- *raggiungere un risparmio energetico del 20% rispetto ai consumi di energia finali previsti.*

Lo strumento operativo del pacchetto fu presentato dalla Commissione europea il 23 gennaio 2008, fissando anche gli obiettivi individuali giuridicamente vincolanti per ciascuno degli Stati membri. Quelli specifici per l'Italia sono:

- *obiettivo di energia prodotta da fonti rinnovabili del 17% al 2020 rispetto al consumo finale lordo di energia previsto (fissata al 10% per i trasporti);*
- *riduzione dei gas climalteranti del 14% al 2020 rispetto ai livelli del 2005.*

Il pacchetto Clima ed Energia nella sua forma definitiva comprende sei proposte legislative, quattro testi legislativi e due atti legislativi:

1. una direttiva che istituisce obiettivi nazionali vincolanti riguardanti l'aumento della percentuale di fonti rinnovabili nell'ambito del mix energetico;

2. una direttiva che rivede il sistema UE di scambio delle quote di emissione (sistema ETS comunitario), che riguarda il 40% circa delle emissioni di gas serra dell'UE;
3. una decisione sulla "condivisione degli oneri" che fissa obiettivi nazionali vincolanti per le emissioni dei settori che non rientrano nel sistema ETS comunitario;
4. una direttiva che istituisce un quadro giuridico finalizzato a garantire un utilizzo sicuro e compatibile con l'ambiente delle tecnologie di cattura e stoccaggio dell'anidride carbonica (CCS).

Il pacchetto è inoltre integrato da due atti legislativi:

- A. un regolamento che impone di abbattere le emissioni di CO₂ delle automobili nuove a 120g/km (obiettivo raggiungibile gradualmente tra il 2012 e il 2015) e a 95 g/km nel 2020;
- B. il riesame della direttiva sulla qualità del combustibile, che impone ai fornitori di combustibili di ridurre del 6% le emissioni di gas serra della filiera di produzione dei combustibili entro il 2020.

▪ **Accordo sulle energie rinnovabili**

Secondo la direttiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 23 Aprile 2009 sulla promozione dell'uso di energia da fonti rinnovabili, entro il 2020, il 20% dei consumi finali lordi di energia dell'Unione Europea dovrà essere costituito da energia prodotta da fonti rinnovabili. Ci si riferisce a tutte le forme di energia, e quindi non solo all'elettricità, ma anche ai consumi per il riscaldamento e il raffrescamento, nelle industrie, nel settore civile, nonché nel settore dei trasporti (per il quale si prevede che i consumi siano coperti almeno per il 10% da biocombustibili).

Un passaggio delicatissimo è stato quello della ripartizione dell'obiettivo comune fra i vari stati, per cui ogni Stato membro deve contribuire al raggiungimento dell'obiettivo per una specifica quota, che nel caso dell'Italia corrisponde al 17%, da ripartire a sua volta fra le Regioni. La direttiva indica anche la necessità di rafforzare le risorse dedicate alla statistica dei consumi e al monitoraggio delle applicazioni e dei provvedimenti presi dai vari stati, prevedendo, da parte degli stessi Stati membri entro il 30 giugno 2010, la redazione di un primo Piano di Azione Nazionale (PAN) seguendo un modello molto dettagliato.

Valutando la distanza all'obiettivo 2020, all'Unione Europea a 27 Stati manca poco meno del 10%. All'Italia, che parte nel 2008 con il 6,8% dei consumi finali lordi di energia da fonti rinnovabili, mancano circa 10 punti percentuali per raggiungere il proprio obiettivo entro i prossimi anni, rappresentando insieme a Gran Bretagna, Irlanda, Francia, Danimarca e Olanda, uno dei paesi che dovranno impegnarsi di più nel raggiungimento del proprio obiettivo. Romania, Svezia, Austria, Svizzera, Slovacchia, Repubblica Ceca ed Estonia sembrano esservi invece, già molto vicini.

	2006	2007	2008	Obiettivo 2020	Quanto manca*?
European Union 27	8,9	9,7	10,3	20	9,7
United Kingdom	1,5	1,7	2,2	15	12,8
Ireland	3	3,4	3,8	16	12,2
France	9,6	10,2	11	23	12
Denmark	16,8	18,1	18,8	30	11,2
Netherlands	2,5	3	3,2	14	10,8
Italy	5,3	5,2	6,8	17	10,2
Latvia	31,3	29,7	29,9	40	10,1
Greece	7,2	8,1	8	18	10
Slovenia	15,5	15,6	15,1	25	9,9
Malta	0,1	0,2	0,2	10	9,8
Belgium	2,7	3	3,3	13	9,7
Spain	9,1	9,6	10,7	20	9,3
Germany	7	9,1	9,1	18	8,9
Cyprus	2,5	3,1	4,1	13	8,9
Luxembourg	0,9	2	2,1	11	8,9
Portugal	20,5	22,2	23,2	31	7,8
Lithuania	14,7	14,2	15,3	23	7,7
Finland	29,2	28,9	30,5	38	7,5
Poland	7,4	7,4	7,9	15	7,1
Bulgaria	9,3	9,1	9,4	16	6,6
Hungary	5,1	6	6,6	13	6,4
Estonia	16,1	17,1	19,1	25	5,9
Czech Republic	6,4	7,3	7,3	13	5,8
Slovakia	6,2	7,4	8,4	14	5,6
Austria	24,8	26,6	28,5	34	5,5
Sweden	42,7	44,2	44,4	49	4,6
Romania	17,5	18,7	20,4	24	3,6

Tabella 2 – percentuale di incidenza di energia da fonte rinnovabile nei paesi UE (Eurostat)

▪ **Sistema di scambio delle emissioni di gas a effetto serra (ETS)**

La nuova proposta della Commissione europea sull'obiettivo unilaterale di riduzione di gas serra del 20% al 2020, considera due differenti approcci, il primo si basa sull'ulteriore sviluppo del sistema europeo di Emissions Trading (EU-ETS), il secondo sull'individuazione di obiettivi per quanto riguarda i settori non soggetti al sistema ETS (non-ETS: trasporti, rifiuti, servizi, residenziale e agricoltura, che insieme coprono circa il 60% del totale delle emissioni).

Per quanto riguarda i settori ETS la Commissione europea propone una gestione a livello comunitario e non più a livello nazionale. Mentre, nei settori non-ETS i singoli Paesi membri devono scegliere il set di politiche e misure nazionali idonee al raggiungimento dell'obiettivo di riduzione imposto dalla UE.

La Commissione propone di prendere come nuovo anno di riferimento il 2005 anziché il 1990. Questo in considerazione del fatto che essendo il sistema ETS entrato in funzione nel 2005 risulta difficile separare per gli anni precedenti, e per il 1990, il contributo dei settori ETS e non-ETS. Il nuovo obiettivo di riduzione a livello comunitario per il 2020 riferito al 2005 viene fissato quindi al 14%.

La Commissione propone inoltre per i settori ETS e non-ETS la seguente ripartizione:

- un obiettivo di riduzione del 21% per i settori ETS al 2020 rispetto al 2005;

- un obiettivo di riduzione del 10% per i settori non-ETS al 2020 rispetto al 2005, ripartita tra i vari Stati in un intervallo tra +20% e -20% per tenere conto del principio di solidarietà.

All'Italia si propone di assegnare per i settori non-ETS il valore di -13%, corrispondente, secondo le proposte della Commissione, ad un limite di emissione pari a 305,32 MtCO₂ eq.

▪ **Ripartizione degli sforzi per ridurre le emissioni**

Il Parlamento ha adottato una decisione che mira a ridurre del 10% le emissioni di gas serra prodotte in settori esclusi dal sistema di scambio di quote, come il trasporto stradale e marittimo o l'agricoltura. Fissa quindi obiettivi nazionali di riduzione (per l'Italia 13%), prevedendo anche la possibilità per gli Stati membri di ricorrere a parte delle emissioni consentite per l'anno successivo o di scambiarsi diritti di emissione. Dei crediti sono anche previsti per progetti realizzati in paesi terzi. In caso di superamento dei limiti sono previste delle misure correttive.

▪ **Cattura e stoccaggio geologico del biossido di carbonio**

Il Parlamento ha adottato la direttiva 2009/31/CE che istituisce un quadro giuridico per lo stoccaggio geologico ecosostenibile di biossido di carbonio (CO₂) con la finalità di contribuire alla lotta contro il cambiamento climatico. Fino a 300 milioni di euro, attinti dal sistema di scambio di emissione, finanzieranno 12 progetti dimostrativi, mentre le grandi centrali elettriche dovranno dotarsi di impianti di stoccaggio sotterraneo.

▪ **Riduzione del CO₂ da parte delle auto**

Il Parlamento ha approvato un regolamento che fissa il livello medio di emissioni di CO₂ delle auto nuove a 130 g CO₂/km a partire dal 2012, da ottenere con miglioramenti tecnologici dei motori. Una riduzione di ulteriori 10 g dovrà essere ricercata attraverso tecnologie di altra natura e il maggiore ricorso ai biocarburanti. Il compromesso stabilisce anche un obiettivo di lungo termine per il 2020 che fissa il livello medio delle emissioni per il nuovo parco macchine a 95 g CO₂/km. Sono previste "multe" progressive per ogni grammo di CO₂ in eccesso, ma anche agevolazioni per i costruttori che sfruttano tecnologie innovative e per i piccoli produttori.

▪ **Riduzione dei gas a effetto serra nel ciclo di vita dei combustibili**

Il Parlamento ha adottato una direttiva che, per ragioni di tutela della salute e dell'ambiente, fissa specifiche tecniche per i carburanti. Stabilisce inoltre un obiettivo di riduzione del 6% delle emissioni di gas serra prodotte durante il ciclo di vita dei combustibili, da conseguire entro fine 2020 ricorrendo, ad esempio, ai biocarburanti. L'obiettivo potrebbe salire fino al 10% mediante l'uso di veicoli elettrici e l'acquisto dei crediti previsti dal protocollo di Kyoto. Il tenore di zolfo del gasolio per macchine non stradali, come i trattori, andrà ridotto. La direttiva, che dovrà essere trasposta nel diritto nazionale entro il 31 dicembre 2010, si applica a veicoli stradali, macchine mobili non stradali (comprese le navi adibite alla navigazione interna quando non sono in mare), trattori agricoli e forestali e imbarcazioni da diporto.

5.2 La campagna SEE

Il raggiungimento degli obiettivi al 2020, e quindi la corretta attuazione delle norme sopra ricordate, passano anche attraverso una maggiore consapevolezza sui temi dell'energia nei diversi livelli della società. Al fine di aumentare questa consapevolezza sui temi dell'energia, la Commissione europea ha lanciato, nel novembre del 2005, la campagna Energia sostenibile per l'Europa (*Sustainable Energy for Europe - SEE*), la più grande iniziativa a supporto degli obiettivi comunitari al 2020. La campagna SEE è aperta a soggetti pubblici e privati, Enti locali e Regioni, agenzie energetiche, associazioni, ecc, e si propone con quattro obiettivi principali:

- 1) aumentare la consapevolezza dei decision-makers nei diversi settori (pubblico, privato, ONG, ecc.) e ai diversi livelli (locale, regionale, nazionale ed Europeo);
- 2) diffondere le migliori pratiche (best-practices) e contribuire agli obiettivi di politica energetica dell'UE, migliorando la sicurezza degli approvvigionamenti energetici e combattere i cambiamenti climatici;
- 3) assicurare una conoscenza appropriata e un adeguato supporto per raggiungere un alto livello di consapevolezza pubblica;
- 4) stimolare l'aumento degli investimenti privati nel settore delle tecnologie energetiche sostenibili.

Tutti coloro che presentano progetti ed iniziative che rispondono agli obiettivi sopra elencati possono diventare Partner della campagna SEE²¹, operando all'interno di una delle cinque aree di lavoro della campagna stessa (comunità sostenibili; trasformazione del mercato; progetti dimostrativi; comunicazione, educazione e formazione; programmi di cooperazione), ed attualmente l'Italia conta circa 150 partnership nel periodo 2005-2010. Tra le partnership attivate nel nostro Paese ci sono sia progetti con capofila italiano, inseriti nell'ambito del programma Energia Intelligente per l'Europa (EIE), che iniziative autonome portate avanti dai diversi attori del panorama energetico nazionale. L'alto numero delle partnership attivate in Italia è anche associato all'alta qualità delle proposte presentate: ogni anno infatti la Commissione europea premia le migliori proposte presentate nell'ambito della campagna SEE conferendo i "SEE Awards". In pratica, la Commissione opera una dura selezione per selezionare ogni anno le migliori 25 proposte (Nominations) e, tra queste, vengono poi scelti i

vincitori assoluti (uno per ognuna delle cinque categorie del premio corrispondenti alle cinque aree della campagna SEE). Nell'edizione 2008 l'Italia l'ha fatta da padrona con ben 6 Nominations e 3 vincitori assoluti di categoria, e nell'edizione 2009 sono state registrate 5 Nominations ed un vincitore assoluto di categoria. Risultati che attestano la qualità delle proposte e dei progetti presentati dai partner italiani che, nelle loro diverse forme, si stanno impegnando concretamente sulla strada della sostenibilità ambientale ed energetica.

6 Il ruolo delle tecnologie verdi per il sistema paese

La politica energetica dell'Ue si è sempre distinta sul piano internazionale caratterizzandosi per una particolare sensibilità verso le problematiche ambientali e diventando un caposaldo della politica estera dell'Unione. Sulla scia del Protocollo di Kyoto, l'Unione Europea ha definito una serie di documenti programmatici che dettano le linee di indirizzo da seguire negli interventi futuri ribadendo l'esigenza di favorire la promozione delle fonti rinnovabili e impegnano gli Stati membri a ridurre le proprie emissioni di gas serra. Il primo passo è stato compiuto con l'adozione del Libro Verde "Energia per il futuro: le fonti energetiche rinnovabili", nel quale sono state individuate le misure prioritarie al fine di raddoppiare la quota delle energie rinnovabili nel consumo interno lordo di energia dell'UE, portandola dal 6 al 12% nel 2010. Facendo seguito al Libro Verde, nel 1997 la Commissione europea ha adottato un Libro Bianco, nel quale è stato definito un piano d'azione volto a rafforzare la presenza delle energie rinnovabili nelle diverse politiche dell'Unione al fine di ridurre le emissioni di CO₂, garantire una migliore competitività, aumentare la sicurezza dell'approvvigionamento, ridurre la dipendenza dalle importazioni e favorire la creazione di nuovi posti di lavoro. Tra i documenti di politica energetica riguardanti le energie rinnovabili si segnala anche il Libro Verde *"Verso una strategia europea di sicurezza dell'approvvigionamento energetico"*, nel quale si ribadisce la necessità di aumentare la quota delle energie rinnovabili nel bilancio energetico e di passare dal 14 al 22% nella produzione di elettricità entro il 2010.

Con il Libro verde sull'efficienza energetica la Commissione ha avviato un dibattito sui modi efficienti di utilizzare l'energia, riconoscendo il potenziale di risparmio, all'insegna dell'efficacia dei costi, del 20% di consumo di energia primaria entro il 2020.

L'efficienza energetica rappresenta senza dubbio il mezzo più rapido ed efficace in termini di costi per ridurre le emissioni di gas a effetto serra e per migliorare la qualità dell'aria, in particolare nelle regioni densamente popolate. Pertanto, il Libro verde sull'efficienza energetica, è lo strumento attraverso cui la Commissione invita le autorità pubbliche a rendere i cittadini e le imprese più responsabili in merito alle questioni relative al risparmio energetico, premiando il comportamento consapevole.

L'Unione Europea, dunque, identifica nell'efficienza del sistema energetico e nel suo sviluppo tecnologico il principale punto di snodo per lo sviluppo di un'economia compatibile con la disponibilità delle risorse e, quindi, ambientalmente sostenibile.

Mentre la sfida dei cambiamenti climatici e la crisi degli approvvigionamenti di combustibili fossili spostano i limiti della convenienza economica e impongono una sempre maggiore attenzione a tutti quei costi che ricadono sulla collettività in termini di danno sulla salute dell'uomo e sull'ambiente, lo sviluppo tecnologico risponde all'esigenza di incrementare l'efficienza dei sistemi di produzione, di accrescere i livelli di utilizzazione delle fonti residuali e di aprire ulteriori e più efficienti modalità di utilizzo delle nuove fonti di energia.

I processi in atto di trasformazione dell'attuale sistema energetico comportano un avvicinamento tra i luoghi di produzione a quelli di utilizzo dell'energia con l'obiettivo di creare modelli territoriali innovativi di integrazione tra produzione e sistema energetico.

All'interno di questa logica assume un particolare significato la diffusione di tecnologie finalizzate alla valorizzazione energetica delle risorse del territorio. Lo sviluppo di una filiera industriale delle rinnovabili, oltre ad essere uno strumento in grado di fronteggiare il rischio dei cambiamenti climatici e dell'approvvigionamento delle fonti fossili, diventa in questo modo opportunità di crescita economica e sociale per il nostro Paese, favorendo al tempo stesso la creazione di nuovi posti di lavoro.

In questa prospettiva assume carattere strategico la predisposizione di un piano di investimenti per la ricerca e la sperimentazione in grado di accelerare lo sviluppo delle tecnologie e di abbreviare i tempi necessari all'introduzione di sistemi innovativi sul mercato. L'accordo europeo sul pacchetto Clima-Energia, il rispetto del Protocollo di Kyoto, nonché il recente referendum sull'energia nucleare, hanno posto al centro dell'attenzione pubblica il ruolo delle fonti rinnovabili nel futuro delle politiche energetiche in Italia.

L'Italia, al pari degli altri paesi comunitari e tecnologicamente avanzati, attraverso una serie di strumenti e meccanismi di incentivazione ha intrapreso la strada dell'investimento in nuove tecnologie energetiche capaci di ridurre o azzerare le emissioni di CO₂ nell'atmosfera. In uno scenario futuro di forte competizione tra diverse scelte energetiche (energie rinnovabili, tecnologie per l'efficienza energetica, idrogeno), l'opzione delle energie rinnovabili appare sempre più come una tra le scelte più percorribili ed a portata di mano. Le FER sono destinate a ricoprire una funzione sempre più importante nei futuri assetti strategici del nostro paese, le cui ragioni principali sono riconducibili al fatto di poter ridurre le emissioni di CO₂ nell'atmosfera, garantire la sicurezza e la diversificazione degli approvvigionamenti energetici, rilanciare gli investimenti nonché offrire opportunità di sviluppo locale ai territori oggi in crisi.

Capitolo 2

La Smart City

Una città è una complessa entità creata dall'interazione di una *componente biologica* (gli abitanti umani, fauna e flora), una *componente sociale* (l'insieme delle attività collettive, idee e organizzazioni degli abitanti) e una *componente meccanica* (gli artefatti tangibili e intangibili che supportano la vita della città).

Una città “intelligente” deve essere in grado di ottimizzare le sue componenti, cioè le sue risorse, e adattarsi ai cambiamenti, sfruttando sensori, telecomunicazioni avanzate, sistemi informativi geografici, cruscotti decisionali, combinati efficientemente.

Il termine di "città intelligente" è stato introdotto come un **qualificatore di vivibilità** per ambienti urbani in cui infrastrutture di comunicazione integranti le più avanzate tecnologie cablate e senza filo si combinano ad apparati terminali, servizi e applicazioni di avanguardia, allo scopo di semplificare la vita dei cittadini e delle imprese, nelle abitazioni, negli uffici e nei luoghi pubblici.

Nella Smart City, soluzioni avanzate di gestione della mobilità, sia in termini di infrastrutture di trasporto sia in termini di sistemi informativi e monitoraggio, sono aspetti tecnologici che rendono una città “intelligente”.

In realtà, si iniziò a parlare di “città digitali” negli anni 90, quando in seguito alla liberalizzazione delle telecomunicazioni e al “boom” dei servizi Internet, iniziò il cablaggio selvaggio del sottosuolo del territorio urbano di tutte le città grandi e medie, mentre spuntavano le antenne della telefonia cellulare e delle reti Wi-Fi e molti Comuni iniziarono a realizzare reti civiche, siti Internet istituzionali e applicazioni di e-government. Un'ulteriore evoluzione delle Smart City è rappresentata dalle Ubiquitous Cities (u-cities) che si basano sui concetti di Ambient Intelligence (ambienti elettronici sensibili alla presenza di persone) e Ubiquitous computing (dispositivi interconnessi in Cloud computing) per risolvere i problemi del risparmio energetico e della modernizzazione urbana.

Il termine Smart City si è poi diffuso a livello europeo quando, nel 2007, fu presentato uno studio realizzato da un gruppo di esperti del Politecnico di Vienna, in collaborazione con l'università di Lubiana e il Politecnico di Delft, che presentarono un nuovo strumento di ranking relativo alle città

europee di media grandezza, cioè al di sotto dei 500.000. Lo studio si basava sulla considerazione che le città di dimensioni contenute si prestassero meglio ad adattarsi e anzi promuovere i cambiamenti, e sul dato demografico che indicava il 40% della popolazione europea come residente in città con massimo 500.000 abitanti. Un operazione di ranking di tali città poteva inoltre portare a valorizzarle rispetto alle grandi metropoli, nelle quali la qualità della vita risultava decisamente inferiore e che risultavano sicuramente meno elastiche nei confronti del cambiamento.

Per il primo ranking furono selezionate 70 città su 256 candidate, e fu fissato l'obiettivo di ripetere l'operazione dopo 3 anni, per verificare la situazione generale, anche in base alla necessaria raccolta di dati, che in molti casi risulta assente e determina un'impossibilità di valutazione.

1. Caratteristiche e peculiarità delle Smart Cities

Il concetto di “città intelligente” associa due tematiche fondamentali: **efficienza energetica e sostenibilità, sia ambientale che sociale.**

Pilastri fondamentali del nuovo contesto urbano sono gli **edifici** e tutte le **reti** cittadine, dai trasporti all'illuminazione, che devono rendere maggiormente efficienti i propri consumi energetici, e le reti elettriche, che devono poter integrare al meglio le fonti rinnovabili prodotte in loco.

Secondo la definizione data nella prima classificazione, una Smart City è una città nella quale sono presenti in maniera ottimale le 6 seguenti caratteristiche:

-Smart Mobility

Smart mobility significa spostamenti agevoli, buona disponibilità di trasporto pubblico innovativo e sostenibile con mezzi a basso impatto ecologico, regolamentazione dell'accesso ai centri storici a favore di una maggiore vivibilità, adozione di soluzioni avanzate di mobility management e di infomobilità per gestire gli spostamenti quotidiani dei cittadini e gli scambi con le aree limitrofe.

-Smart Environment

Una città smart promuove uno sviluppo sostenibile puntando alla riduzione dell'ammontare di rifiuti e alla raccolta differenziata, alla riduzione delle emissioni di gas serra attraverso la limitazione del traffico e all'ottimizzazione delle emissioni industriali. A questi obiettivi si possono aggiungere la razionalizzazione dell'edilizia ed il conseguente abbattimento dell'impatto del riscaldamento e della climatizzazione, la razionalizzazione dell'illuminazione pubblica, la promozione, la protezione e la gestione del verde urbano nonché la bonifica delle aree dismesse.

-Smart People

Una ritrovata consapevolezza e partecipazione nella vita pubblica, alti livelli di qualifica dei cittadini, pacifica convivenza di diversi portatori di interesse e comunità sono alcune delle caratteristiche smart che si possono trovare in una "città intelligente".

-Smart Living

Una città smart fonda la propria crescita sul rispetto della sua storia e della sua identità; promuove la propria immagine turistica con una presenza intelligente sul web; virtualizza il proprio patrimonio culturale e le proprie tradizioni e le restituisce in rete come "bene comune" per i propri cittadini e i propri visitatori; usa tecniche avanzate per creare percorsi e "mappature" tematiche della città e per renderle facilmente fruibili ecc.

-Smart Economy

La nuova economia sarà un'economia intelligente, sostenibile e inclusiva, che rafforzerà le sinergie tra le varie iniziative in campo. Per realizzare ciò l'Unione Europea dovrà puntare su un impegno collettivo e di un'appropriazione degli obiettivi e dei mezzi da parte di tutti i protagonisti europei, nazionali o regionali, pubblici e privati, economici e sociali.

-Smart Governance

Un governo smart ha una visione strategica del proprio sviluppo e sa definire in base a questa scelte e linee di azione, è in grado di coinvolgere i cittadini nei temi di rilevanza pubblica, promuovere azioni di sensibilizzazione ed utilizzare le tecnologie per digitalizzare ed abbreviare le procedure amministrative, ecc.

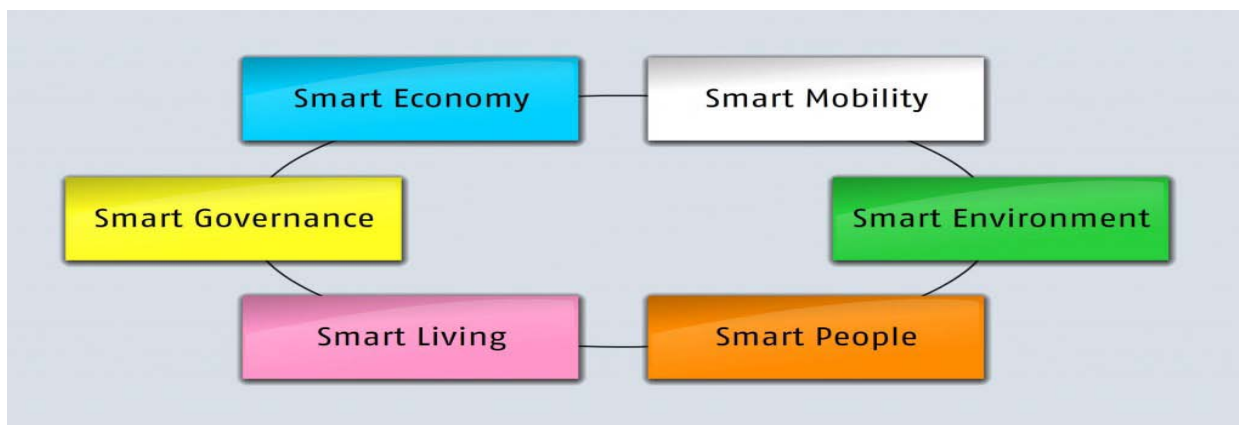


Figura 1 – Le sei caratteristiche principali di una Smart City

In particolare, per ogni caratteristica si possono individuare alcuni sottocampi, come si evidenzia dalla figura 2, nella quale sono annessi anche gli strumenti tecnologici che supportano la creazione e la gestione della smart city, come il Life Cycle Assessment e la Smart Supply Chain, che garantiscono una gestione delle risorse efficiente e sostenibile.

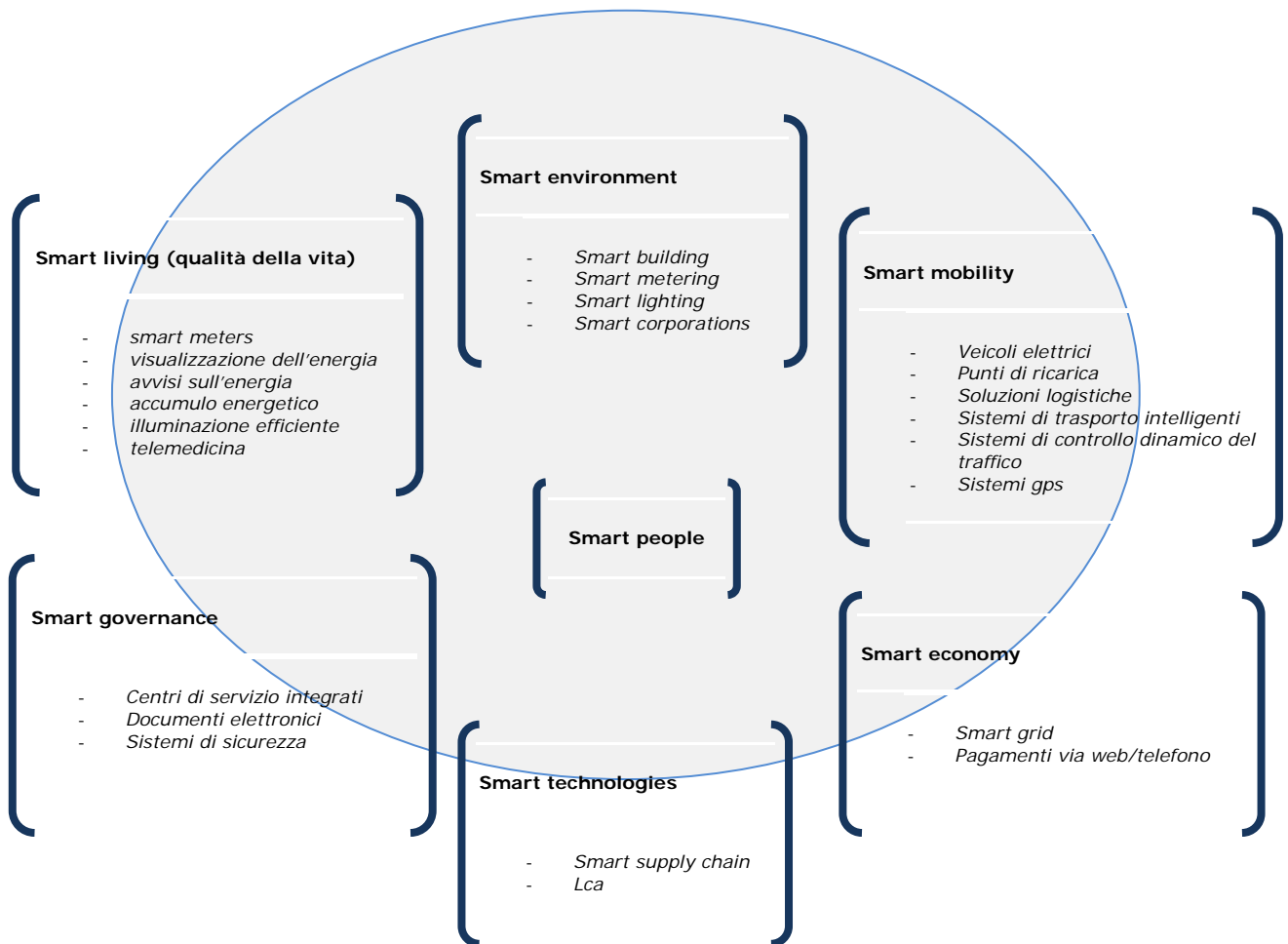


Figura 2 – Caratteristiche principali e campi di applicazione per una Smart City

E' necessario sottolineare l'importanza crescente delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione (TIC), e del capitale sociale e ambientale nel profilo della competitività delle città.

Il primo obiettivo da raggiungere per creare una vera città intelligente è una gestione ottimizzata delle risorse energetiche e del trasporto, in modo che nelle aree urbane vengano ridotti le emissioni di carbonio, i rifiuti, l'inquinamento e la congestione.

Le nuove tecnologie possono rappresentare il mezzo per raggiungere questo obiettivo.

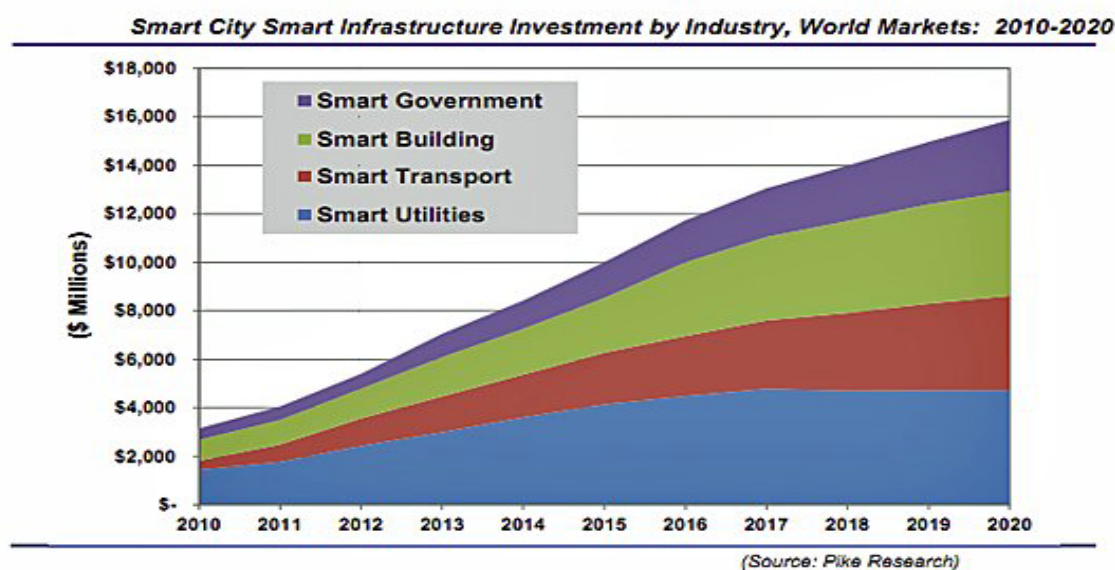


Figura 3 – Investimenti in infrastrutture per smart cities: previsioni dal 2010 al 2020

2. Problematiche nello sviluppo delle Smart Cities

Un punto chiave che è emerso è la mancanza di una vera intelligence dei dati.

Benché numeri e informazioni siano disponibili, spesso anche in abbondanza, da una miriade di sistemi diversi, mancano sia le competenze, sia gli strumenti per trarre da queste informazioni indicazioni di supporto al processo decisionale. Questa insufficiente capacità di mettere a fuoco la “knowledge” a partire dai dati non riguarda necessariamente solo le pubbliche amministrazioni: è trasversale, e può coinvolgere anche le aziende, mentre riguarda i cittadini praticamente sempre. E, in generale, si traduce in una mancanza di comunicazione tra gli attori che dovrebbero stimolare il processo.

Il gap di comunicazione tra ambienti scientifici, aziende, pubbliche amministrazioni e sistemi culturali è sicuramente un limite per lo sviluppo delle potenzialità, in particolare delle aree

transfrontaliere. Per qualsiasi realtà urbana culturalmente avanzata, la circolazione delle idee è una necessità. In questo senso, le problematiche di cultura amministrativa, gestionale e organizzativa sono ancora più centrali di quelle tecnologiche. Si tratta, in sostanza, di una questione di governance ma anche di **consapevolezza dei bisogni**, fattori chiave per uno sviluppo integrato degli e-service.

Uno dei dati emersi è infatti che i progetti di questo tipo a volte falliscono perché ideati a partire da una tecnologia e non da un bisogno, e quindi propongono risposte a esigenze che non sono sentite dai cittadini, trascurandone magari altre che sono invece di grande importanza per la vita quotidiana.

A questo fattore si connette quello dell'usabilità degli strumenti sviluppati: in paesi con un'età media molto avanzata, come sono per esempio Italia e Austria, bisogna tenere conto di larghe fasce di popolazione che a causa dell'età non hanno familiarità con le soluzioni digitali e che tenderanno a non utilizzarle pur avendole a disposizione, anche quando rispondono a bisogni effettivi, se esse non sono facilmente usabili.

Inoltre, non va trascurato che i cittadini devono essere resi consapevoli non solo dell'esistenza e disponibilità di un servizio, o della sua facilità d'uso, ma anche dei vantaggi concreti che il servizio stesso può apportare singolarmente a ciascuno di loro e alla collettività.

Un altro ostacolo forte rimane la burocrazia, in particolare nel settore delle utilities (elettricità, gas, acqua) che è molto regolamentato.

Per perseguire questi obiettivi, le consultazioni con i cittadini sono altrettanto importanti delle tecnologie e devono integrarsi in e con queste ultime: sono necessari dei framework di tipo 2.0, cioè web-based e interattivi. Ma il problema del dialogo non è soltanto tra le pubbliche amministrazioni e le imprese, o tra le P.A. e i cittadini. Riguardano anche le pubbliche amministrazioni tra di loro.

La frammentazione delle competenze, nel caso italiano, principalmente tra regioni, province e comuni, è uno degli ostacoli maggiori sulla strada dell'implementazione di una governance esaustiva e condivisa. La condivisione di esperienze e conoscenza tra amministrazioni locali rimane tuttora molto limitata e spesso le singole amministrazioni hanno ognuna idee completamente diverse sulle soluzioni da adottare. Per le aziende questo si traduce in crescenti difficoltà a individuare nelle amministrazioni locali i decisori che possono essere effettivi interlocutori di un dialogo.



Figura 4 – Modello di e-government per la pubblica amministrazione

In questo quadro, i partenariati pubblico-privato (Ppp) si delineano come una delle soluzioni più efficaci per lo sviluppo delle smart cities. La formula del partenariato stimola le amministrazioni pubbliche ad adottare un approccio “business oriented” che individua più facilmente i criteri di fattibilità del progetto e i ritorni dell’investimento. I metodi e le tecniche di finanza di progetto si sono già dimostrate molto efficaci sia nell’ambito del processo decisionale, sia poi nella fase di implementazione dei servizi: un esempio sono le iniziative di illuminazione pubblica tramite Led che sono state adottate in numerosi comuni italiani con il contributo di aziende private che hanno proposto forme di comodato o altre formule simili che hanno consentito sia all’ente pubblico di ottenere risparmi, sia al partner privato di realizzare un ragionevole profitto. Nelle iniziative Ppp, comunque, la responsabilità del successo non può ricadere esclusivamente sulla parte pubblica ma deve essere condivisa dal privato così come lo sono i vantaggi.

3. Il contesto europeo

Fissato nel 2007 dal Consiglio europeo, il “Pacchetto cambiamenti climatici ed energia”, già definito 20-20-20 prevede:

- un impegno unilaterale dell’UE a ridurre di almeno il 20% le emissioni di gas serra rispetto ai livelli del 1990 entro il 2020, e l’obiettivo di ridurre le emissioni del 30% entro il 2020 a condizione che venga concluso un accordo internazionale sui cambiamenti climatici;
- il raggiungimento di una quota del 20% di energie rinnovabili nel totale dei consumi energetici entro il 2020, compreso un obiettivo che prevede una quota minima del 10% di biocarburanti nel totale dei consumi di benzina e gasolio per autotrazione dell’UE entro il 2020;
- aumentare l’efficienza energetica, con l’obiettivo di risparmio dei consumi energetici dell’UE del 20% rispetto alle proiezioni per il 2020.

È stata proposta quindi una Direttiva sulle rinnovabili con obiettivi nazionali legalmente vincolanti per ciascuno degli Stati Membri. I settori coinvolti nelle rinnovabili sono: elettricità, riscaldamento, raffreddamento e trasporti. Per l’Italia è stato proposto un obiettivo, legalmente vincolante, pari a una quota del 17% di fonti rinnovabili nella domanda finale di energia nel 2020.

Le città sono il centro delle attività economiche, della ricerca e dello sviluppo e, di conseguenza, rappresentano la chiave di volta per la crescita “intelligente” dell’Unione. L’80% delle emissioni di carbonio in Europa provengono dalle aree urbane. I palazzi, le industrie ed i trasporti sono un mix di elementi che contribuiscono in gran misura ad aumentare l’inquinamento del vecchio continente. Per questo motivo l’Europa ha l’obbligo di promuovere la sostenibilità urbana, se vuole concretamente avvicinarsi, in qualche modo, ai target climatici prefissati per il 2020.

Concentrandosi, inoltre, sul concetto dell’inclusione, è bene considerare che il 75% della popolazione europea vive nelle città, e rispetto al diffuso benessere di cui gli spazi urbani sono caratterizzati, le città sono anche il luogo in cui “l’esclusione” e la povertà sono aspetti acuti e radicati.

In ordine a queste argomentazioni, l’UE è consapevole del bisogno assoluto di lavorare con le città Europee. In linea con il principio di sussidiarietà, l’Europa collabora con gli Stati membri e le autorità locali, per assicurare un alto livello di protezione dei cittadini che vivono e lavorano negli ambienti urbani. La caratteristica chiave di molte delle leggi e delle politiche europee in ambiti come quello della protezione ambientale, dello sviluppo regionale e dei trasporti, sono infatti misure

indirizzate specificamente alla gestione e protezione delle aree urbane europee.

L'UE agisce a livello urbano seguendo uno schema i cui obiettivi sono focalizzati su quattro temi fondamentali: salute e benessere del cittadino, vivibilità urbana, efficienza delle risorse e sostenibilità, buona gestione degli spazi pubblici.

Per quanto riguarda il primo punto, la salute e il benessere dei cittadini dipendono dalla qualità dell'acqua che bevono e dell'aria che respirano e dagli effettivi ed efficaci trattamenti per lo smaltimento dei rifiuti. A tal proposito la Direttiva europea 98/8/EC riguardante l'acqua, assicura che abbia tutte le caratteristiche che la rendono potabile, nonché l'obbligo, da parte delle città, di monitorare regolarmente la sua qualità.

Direttive comunitarie che condizionano l'azione degli stati membri esistono anche per il corretto smaltimento dei rifiuti e per la riduzione dell'inquinamento atmosferico. Quest'ultimo è regolamentato, ad esempio, dalla strategia Clean Air for Europe, che include la Direttiva denominata CAFE' (Cleaner Air for Europe), la quale richiede ai governi di definire la qualità dell'aria sulla base della densità di popolazione del proprio stato e su determinati criteri di esposizione.

Nell'ambito della vivibilità urbana rientrano invece piani ben precisi relativi alla conservazione della biodiversità in ambiente urbano, alla lotta contro l'inquinamento acustico, al rispetto e alla conservazione del patrimonio storico e artistico delle città, e alla sostenibilità dell'utilizzo del suolo. Sono numerosi i programmi europei rivolti alla realizzazione di questi obiettivi e vengono promossi piani urbani per il miglioramento della qualità della vita dei cittadini focalizzandosi parallelamente sulla lotta contro il cambiamento climatico.

Il tema dell'efficienza delle risorse e della sostenibilità ruota invece intorno al vitale concetto che qualsiasi ambiente urbano deve funzionare efficacemente e allo stesso tempo essere caratterizzato dal più basso utilizzo di risorse naturali scarse. In questo modo i cittadini europei potranno raggiungere una alta qualità della vita che sia allo stesso tempo sostenibile anche per le generazioni future. L'Energy Efficiency Plan 2011 adottato dalla Commissione Europea lo scorso marzo, è un esempio delle politiche europee in questo settore. In generale, la risoluzione del problema dell'efficienza nelle aree urbane si focalizza essenzialmente su politiche di efficienza energetica, promozione della diffusione di mezzi di trasporto pubblici e privati ecologici, innovazione tecnologica e conseguente nascita di green jobs. Infatti, molte di queste iniziative presuppongono l'esistenza di nuove figure nel mondo del lavoro, come i meccanici specializzati nella riparazione di veicoli a basse emissioni di CO₂.

La buona gestione degli spazi pubblici urbani, infine, riguarda sia le azioni di buon governo delle amministrazioni locali sia la partecipazione democratica dei cittadini nonché la loro educazione al senso civico.

Sulla base di queste considerazioni, l'Unione Europea si fa carico, tramite politiche specifiche e fondi finanziari, della crescita e della conversione green delle aree urbane europee, con l'auspicio che questa contribuisca a dare un'accelerata per il raggiungimento dei target 2020.

Per diventare Smart City, e quindi attingere ai finanziamenti dell'Unione Europea che, tra pubblici e privati potrebbero sfiorare gli 11 miliardi di euro, nei prossimi 10 anni, devono essere definiti e sviluppati progetti di sostenibilità dal punto di vista energetico, rendendo la città più vivibile, coinvolgendo il mondo dell'industria, le imprese, le associazioni di categoria, il sistema bancario, i centri di ricerca e le altre organizzazioni pubbliche o private.

Le città devono quindi lavorare su due filoni: quello della riconversione energetica degli edifici e quello della mobilità sostenibile.

L'Europa incoraggia quindi le comunità "intelligenti", che vadano verso soluzioni "integrate e sostenibili in grado di offrire energia pulita e sicura a prezzi accessibili ai cittadini, ridurre i consumi e creare nuovi mercati in Europa e altrove".

Il progetto Smart City fa parte del Piano strategico per le Tecnologie Energetiche (Set), nel cui ambito l'Unione europea prevede la creazione di una rete di trenta smart cities da selezionare entro il 2020. Una sorta di modello prototipale dell'efficienza energetica da avviare a un percorso di sviluppo economico e urbano dai bassi costi e dal ridotto impatto ambientale. Auto elettriche ricaricabili con l'energia prodotta negli edifici, zone low-carbon e messa in rete dell'energia prodotta da fonti rinnovabili, sono alcuni esempi delle tecnologie suggerite per un diverso sistema edilizio e di mobilità urbana.

Il primo bando di Smart City è di circa 70-80 milioni per progetti di ristrutturazione del patrimonio immobiliare pubblico e privato e delle reti energetiche. Con l'apertura della call del 7° programma quadro lanciata lo scorso 19 luglio, le città e i partner industriali potranno richiedere finanziamenti UE nei settori della gestione integrativa di energia urbana tra cui soluzioni per la mobilità sostenibile, le acque e i rifiuti.

3.1 Alcuni dati di consumo energetico

In Europa più del 40% del consumo finale di energia della Comunità è riconducibile al settore residenziale e terziario. In Italia, dei 190 milioni di Mtep (Milioni di Tonnellate Equivalenti di Petrolio) consumate annualmente, circa 28 sono riconducibili agli usi residenziali, con un tasso di crescita annuo del 2%, contro l'1% dell'incremento generale italiano del consumo di energia. Più del 50% dei consumi residenziali anzidetti, sono imputabili al riscaldamento degli edifici, con la seguente distribuzione:

- 14 miliardi di m³ di gas
- 4,2 miliardi di Kg di gasolio
- 2,4 milioni di tonnellate di combustibili solidi (legna e carbone).

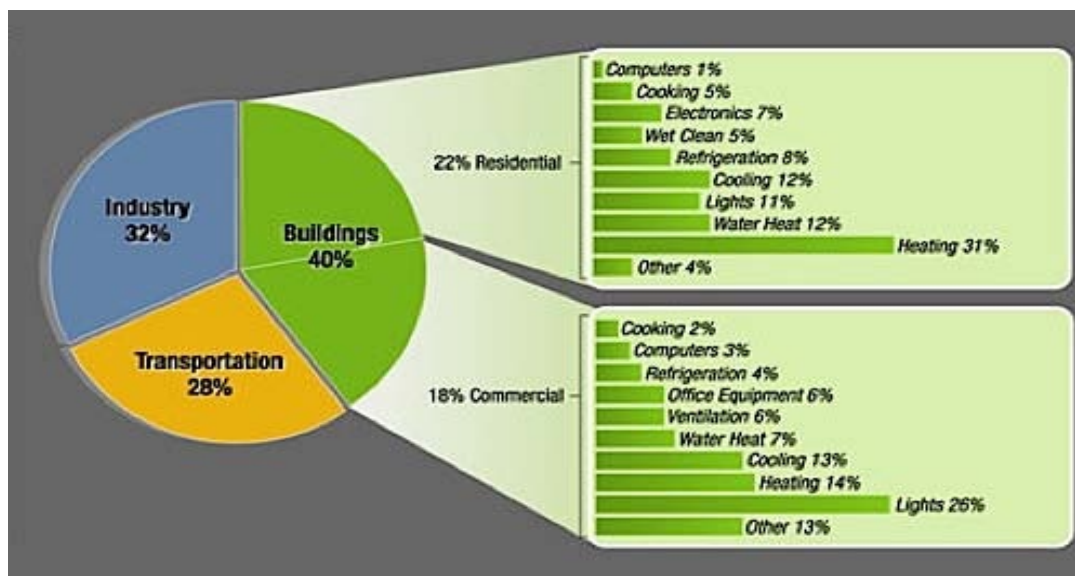


Figura 5 – Suddivisione dei consumi nel settore industriale, edilizio e trasporti. Dettaglio dei consumi nell'area edilizia (residenziale e commerciale)

E' tecnicamente possibile la stabilizzazione dei consumi finali di energia attesi al 2020 ai valori attuali; questo obiettivo si traduce in una riduzione dei consumi di energia finale al 2020 di 3,1 Mtep, da realizzare, nel breve-medio periodo, attraverso interventi di miglioramento dell'efficienza energetica utilizzando le tecnologie attuali, in particolare nel settore civile e dei trasporti.

Un maggiore incremento dell'efficienza energetica è attesa, soprattutto nel medio-lungo periodo, dallo sviluppo e dall'applicazione di tecnologie innovative nel settore civile, con particolare riferimento agli **eco-building**, alla **generazione distribuita** nei Distretti industriali, ed all'incremento del gas naturale e alla **diffusione di veicoli ibridi e ad idrogeno** nel settore della mobilità.

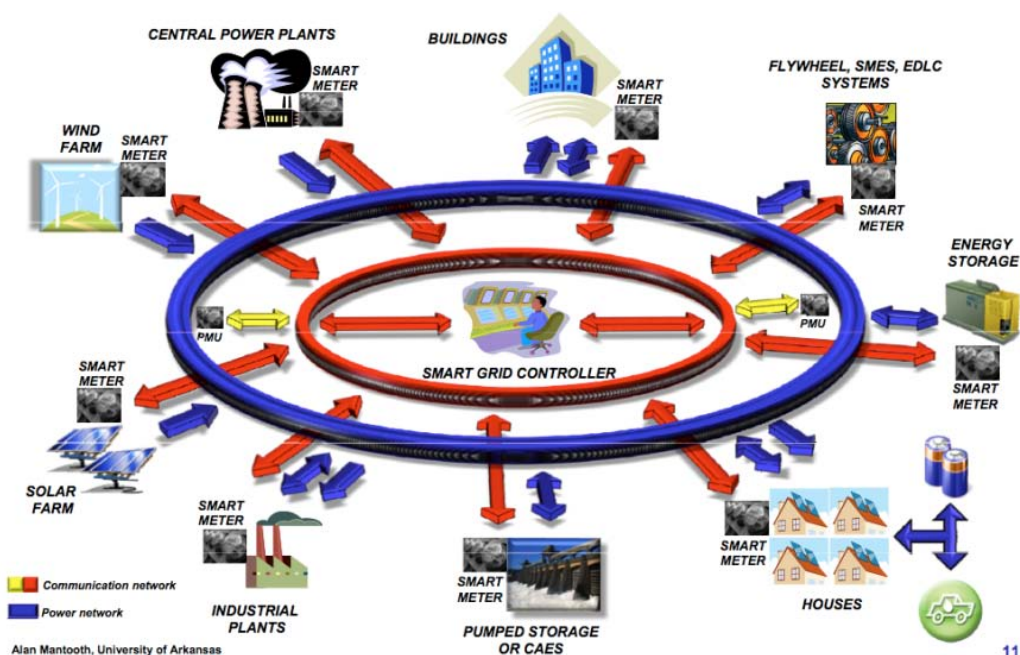
4. Verso la Smart City

Possono essere individuati 5 passaggi fondamentali nel passaggio verso la Smart City:

- a. Integrazione dei sistemi operazionali realizzati a supporto dei compiti di istituto del comune rispetto al territorio. Solo così si ottengono tempestività di aggiornamento e certezza di informazione: popolazione, imprese e commercio, edilizia, patrimonio, strumenti urbanistici, imposte, verde, istruzione, strade e viabilità, ecc.
- b. Integrazione con altri soggetti pubblici per la condivisione attraverso l'interscambio delle informazioni relative all'utilizzo del territorio: Catasto (classificazione, proprietà e consistenza dei beni immobili), Camere di Commercio (variazioni relative alle imprese) e l'azienda di gestione del servizio idrico, dell'energia (elettricità e gas) e dei servizi ambientali (raccolta e riciclo rifiuti, pulizia strade, ecc.), I data-base diventano così veri e propri sensori in grado di rilevare quotidianamente le variazioni nella vita degli immobili, delle aziende, dei cittadini e dei consumi.
- c. Coinvolgimento nell'azione di integrazione degli attori esterni privati che, a vario titolo, operano sul patrimonio edilizio (es. professionisti). In questo modo si intercettano tempestivamente e alla fonte tutte le trasformazioni edilizie. A questo punto il sistema informativo territoriale può dirsi completo e in grado di raccogliere ed elaborare, georeferenzandole, una mole molto consistente di informazioni su: popolazione, imprese, trasformazioni edilizia, patrimonio, scuole, verde pubblico, strade, esercizi commerciali, distribuzione di energia e gas, varianti della pianificazione urbanistica, controllo di gestione/SIT, ecc. Per quanto completo però, un sistema informativo ricco di dati aggiornati è condizione necessaria, ma non sufficiente, a trasformare i dati in informazioni fruibili e in grado di orientare le decisioni. Occorre che dati e informazioni vengano messi a disposizione degli organi decisori e sono necessari modelli interpretativi e predittivi in grado di sintetizzare e illustrare efficacemente le informazioni.
- d. Condivisione e circolarità dei dati a tutti i livelli decisionali nei vari ambiti: chi prende decisioni deve avere le informazioni pienamente disponibili nel proprio contesto operativo. Si utilizzano quindi modelli interpretativi e predittivi per la consultazione dei dati e la simulazione degli effetti delle decisioni. Se i dati poi vengono messi a disposizione di tutti coloro che ne fanno richiesta le prospettive di sviluppo e le ulteriori future evoluzioni sono davvero infinite e difficilmente immaginabili.
- e. Open data: dati liberi a disposizione di tutti per ulteriori utilizzi.

5. Dalle Smart Grid alle Smart Cities

Le Smart Grid sono le reti intelligenti che permettono di amministrare la distribuzione dell'energia elettrica in modo intelligente, gestendone la domanda, le interruzioni e la modulabilità. Da qui al tentativo di applicare lo stesso concetto alla distribuzione del gas e dell'acqua il passo è stato breve, visto anche il crescente interesse delle utilities verso tutti i servizi a rete. L'idea di fondo è quella di arrivare alla possibilità (concreta, almeno nel caso dell'elettricità) di avere un flusso bidirezionale tra distribuzione e utenza, con scambio attivo di informazioni.



11

Figura 6 – Schematizzazione di una smart grid

Queste informazioni, raccolte in modo dettagliato e informatizzato, danno la possibilità di raffinare la misurazione dei consumi, lo Smart Metering. Una migliore misurazione dei consumi rappresenta la principale condizione perché i venditori possano elaborare e fornire nuove e sofisticate offerte commerciali, avvicinandosi anche nel campo dell'offerta energetica, a quei VAS, Value Added Service, già presenti e abbondantemente usati nel mondo delle telecomunicazioni. Non va dimenticata, inoltre, la spinta che arriva da una domotica sempre più evoluta, grazie alla quale avremo elettrodomestici e case sempre più intelligenti. Questi servizi poi potranno essere utilizzati anche dalle amministrazioni, direttamente o indirettamente, per impostare la costruzione di una città che sia non solo sostenibile, ma anche più vicina ai propri "utenti" e cioè i cittadini. Smart grid e smart metering facilitano, o faciliteranno, per esempio l'introduzione di tecnologie intelligenti per la gestione degli edifici, consentendo significativi risparmi energetici; sarà possibile ridurre o evitare

gli sprechi nel consumo dell'acqua o rendere più efficiente la rete del gas; sarà possibile estendere e integrare in modo flessibile nel sistema di distribuzione una rete di generazione elettrica distribuita basata sulle fonti rinnovabili; o ancora, diventerà facile introdurre in modo armonico nel tessuto della città l'auto elettrica, sia in forma “privata” che in modalità “carsharing”, che significa prevedere la presenza sul territorio urbano di punti di ricarica veloce necessari alla diffusione del mezzo.

La sostenibilità ambientale ed economica diventa quindi centrale come linea di sviluppo per l'evoluzione della tecnologia.

Si arriva quindi alla Smart City; è importante osservare che c'è bisogno di maggiore consapevolezza, anche da parte dei cittadini, e di spinte fattive come quelle che stanno venendo dall'industria, che sul concetto di Smart city (e su tutto quello che gli ruota intorno) sembra puntare davvero.

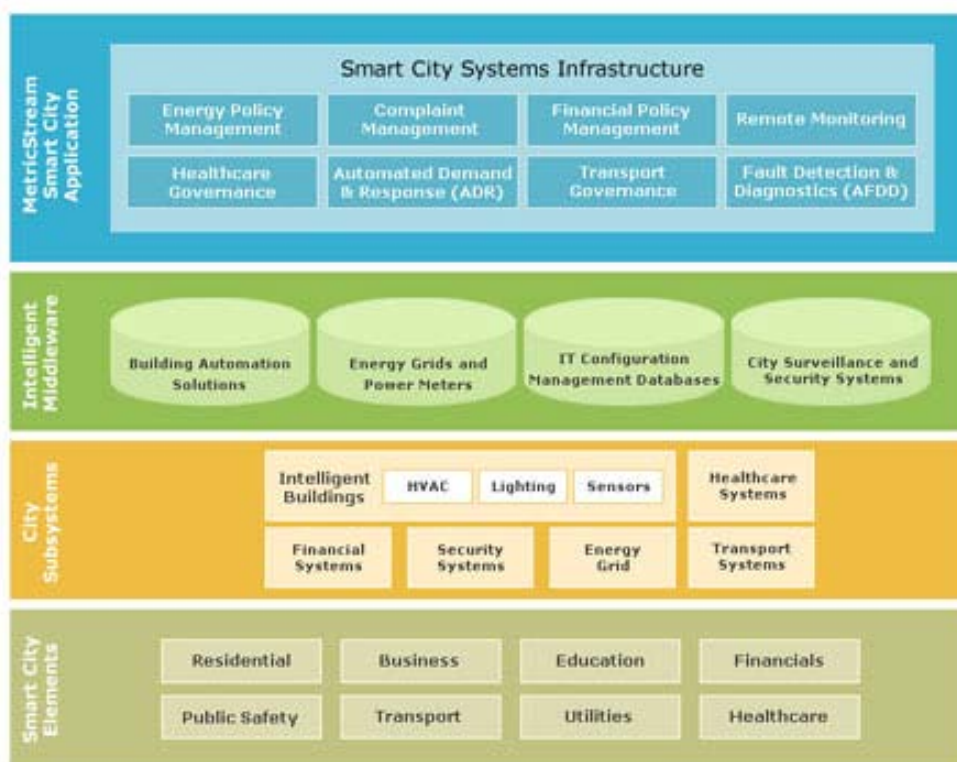


Figura 7 – Infrastrutture e sottosistemi di una Smart city

Capitolo 3

La rete elettrica nazionale. Dalla generazione centralizzata a quella distribuita

Uno dei punti cruciali dello sviluppo della smart city e della diffusione delle fonti rinnovabili e in generale dei sistemi di autoproduzione energetica è lo stato attuale della rete elettrica inteso sia come modello di funzionamento che come stato effettivo degli impianti e delle reti (caratteristica che interessa, evidentemente, ogni paese in modo diverso).

1. Il modello classico di rete elettrica

Il modello “classico” della produzione elettrica prevede che l’energia sia prodotta in un numero limitato di centrali, ciascuna di potenza media o grande (da 20 MW in su). Tali centrali riversano la loro produzione nella “rete elettrica di trasmissione” con tensione superiore a 130 kV. La *rete di trasmissione*, estesa su tutto il territorio nazionale, è destinata a trasportare grandi quantità di energia dalle centrali di produzione ad altre *reti*, quelle *di distribuzione*. Queste ultime sono contraddistinte da un più basso livello di tensione e da un’estensione territoriale più limitata: esse ricevono l’energia dalla rete di trasmissione e, dopo successive trasformazioni di tensione, la cedono all’utenza.

Il collegamento tra la rete di trasmissione e quelle di distribuzione è garantito dalle “cabine primarie”, in cui ha luogo la cessione dell’energia e la necessaria trasformazione di tensione.

Ovviamente, la quantità di energia trasportata dalla rete di trasmissione è assai maggiore di quella che transita sulle numerose reti di distribuzione. Un disservizio che avesse luogo sulla prima avrebbe quindi conseguenze assai più gravi che non uno verificatosi sulle seconde. Da ciò derivano profonde differenze nei criteri di esercizio.

Le reti di distribuzione hanno una configurazione di tipo “**radiale**”: da ogni cabina primaria si dipartono più linee, che da quella cabina (e da essa soltanto) vengono mantenute in tensione. Il flusso di energia è unidirezionale, dalla cabina verso i carichi elettrici, i quali possono essere costituiti da reti a tensione ancora più bassa oppure da singole utenze. Sulla “partenza” di ogni linea è presente un interruttore che, in caso di guasto, viene aperto automaticamente dai dispositivi di protezione. Ciò è sufficiente a mettere fuori tensione l’intera linea, consentendo così di intraprendere in sicurezza gli eventuali interventi necessari per eliminare il guasto.

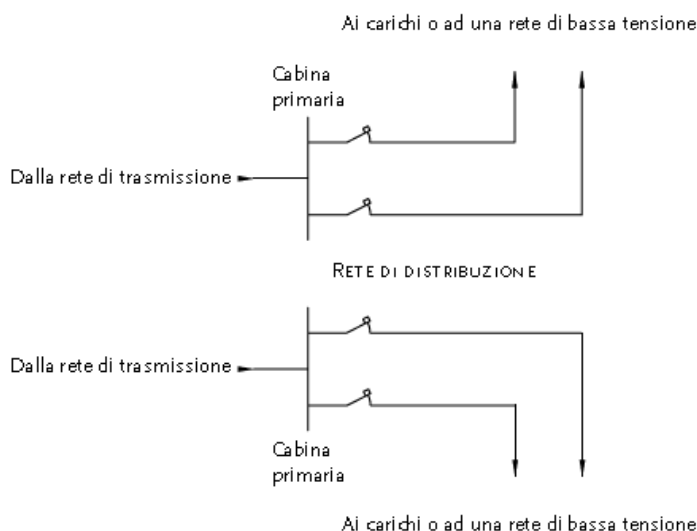


Figura 1 - Rete radiale di distribuzione – sezione

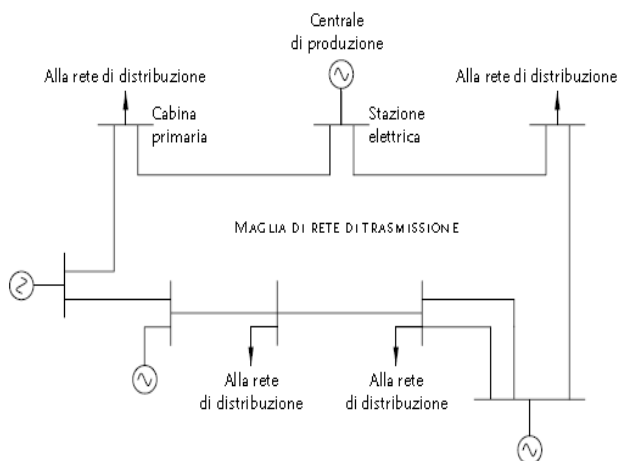


Figura 2 - Sezione di rete magliata di trasmissione.

Il discorso è differente per la rete di trasmissione: le elevate energie in transito, e il fatto di essere unica, impongono di limitare il più possibile le conseguenze dei guasti: di conseguenza, si adotta una configurazione “magliata”, nella quale, cioè, le varie linee sono collegate tra loro in modo da formare, ampie maglie, aventi come vertici le “stazioni elettriche”. Grazie a queste, ciascuna linea è mantenuta in tensione a entrambi gli estremi e **il transito di energia può avvenire indifferentemente nelle due direzioni**, a seconda delle circostanze di esercizio. In tal modo è sempre disponibile un percorso alternativo per l’energia; se una linea subisce un guasto e viene quindi posta automaticamente fuori servizio, l’energia che vi stava transitando si smista su altre linee adiacenti e riesce comunque a raggiungere le reti di distribuzione, senza alcuna disalimentazione del carico.

L’esercizio magliato, assai affidabile, è però complesso e delicato: a causa della doppia alimentazione, occorrono due interruttori per ogni linea, uno per ogni stazione di estremità. Soltanto quando entrambi gli

interruttori sono aperti si ha la certezza che la linea è fuori tensione: se invece è aperto uno solo dei due, la linea viene mantenuta in tensione grazie all'altro.

Le differenze strutturali tra i due tipi di rete si riflettono anche sulla complessità delle attività di manutenzione. Sulla rete di distribuzione, la configurazione radiale consente, con la semplice apertura di un interruttore, di intervenire su tutti gli elementi di impianto (linee, cabine secondarie, utenze ecc.) che si trovano a valle di esso. Sulla rete di trasmissione questo è reso impossibile dalla configurazione magliata: le stesse nozioni di “monte” e di “valle” perdono significato: la manutenzione risulta perciò più complessa e delicata.



Figura 3 - rete di trasmissione elettrica a 380 kV su territorio italiano.

La configurazione radiale della rete di distribuzione è grazie all'assenza, almeno nel modello tradizionale, di centrali di produzione: queste, infatti, per la loro ragguardevole potenza, richiedono necessariamente il collegamento a una rete in alta o altissima tensione, quale la rete di trasmissione.

Per quanto riguarda quest'ultima, è necessario sottolineare la necessità di coordinare il funzionamento degli impianti di produzione ad essa collegati: infatti, si hanno più centrali che operano sotto il controllo di un unico centro remoto di coordinamento, ognuno dei quali ha una competenza territoriale ben precisa (su una o più regioni). Ogni centrale invia automaticamente e continuamente al proprio centro di coordinamento la telemisura della potenza che sta producendo in quell'istante (eventualmente distinta per singolo "gruppo di produzione", se la centrale è di dimensioni ragguardevoli). Sulla base di questi dati, il centro di coordinamento sceglie i valori della potenza che, in un dato periodo di tempo, le varie centrali devono produrre. Nella scelta intervengono, inoltre, le condizioni "fisiche" della rete (ad esempio, l'indisponibilità, attuale o prevista, di una linea a causa di interventi di manutenzione), le caratteristiche di ciascuna centrale (dimensioni, fonte primaria utilizzata ecc.), e gli esiti delle transazioni di compravendita di energia che hanno avuto luogo sul mercato elettrico.

La complessa attività che porta alla scelta della potenza da far produrre a ciascuna centrale prende il nome di "dispacciamento" e ha, tra le altre, la fondamentale funzione di garantire in ogni istante l'equilibrio tra la potenza complessivamente prelevata dalle utenze dalla rete e la potenza totale che nella rete viene immessa dalle centrali di produzione. La scelta operata dalla centrale si traduce in "ordini di dispacciamento" impartiti a ciascuna centrale, con i quali si stabilisce la potenza necessaria, ad esempio, in un dato intervallo orario del giorno successivo; il naturale, continuo evolversi delle condizioni di rete (variazioni del carico richiesto, improvvisi disservizi su elementi di rete ecc.) impone di ripetere a cadenza fissa, e anzi assai frequentemente, tutte le operazioni descritte, impartendo quindi sempre nuovi ordini di dispacciamento e correggendo, se necessario, ordini già impartiti in precedenza.

È necessario osservare che l'attività di dispacciamento richiede lo scambio bidirezionale (tra il centro di coordinamento e ciascuna delle centrali controllate) di una mole notevole di dati: tale scambio deve avvenire in maniera automatica, tempestiva e soprattutto affidabile e rende necessario un sistema di telecomunicazioni con elevate prestazioni.

2. Fonti rinnovabili e generazione distribuita

Negli ultimi anni lo scenario del sistema elettrico è andato evolvendosi: la produzione di energia elettrica non è più concentrata soltanto in pochi grandi impianti, essendosi sviluppata una nuova forma di produzione, basata su numerosi impianti di piccola taglia. È comparsa cioè la “generazione distribuita”, che si sta affiancando, senza sostituirla, alla tradizionale “generazione concentrata”.

La nascita di tale nuova forma di produzione elettrica ha comportato una rivoluzione nel modo di concepire le reti elettriche, in particolare quelle di distribuzione visto che, per la loro modesta potenza, gli impianti di generazione distribuita non possono essere collegati se non a reti a tensione bassa o media. Le reti di distribuzione devono perciò perdere il loro carattere di reti passive per favorire l'immissione di energia in qualsiasi punto della rete elettrica, acquisendo caratteri propri della rete di trasmissione. Si tratta, innegabilmente, di una complicazione: le imprese che gestiscono le reti di distribuzione dovranno, tra l'altro, sostituire progressivamente i sistemi di protezione e modificare le proprie procedure di manutenzione.

Un altro aspetto critico riguarda il controllo degli impianti di generazione distribuita: essendo numerosissimi e sparsi su un ampio territorio, rendono complessa l'attività di dispacciamento tipica della “produzione concentrata”, attività che sarebbe anche poco utile, data la scarsa programmabilità degli impianti a fonti rinnovabili, veri protagonisti della generazione distribuita. La rete di distribuzione si troverà quindi a dover accogliere periodicamente picchi di potenza non previsti, o comunque non desiderati, senza la possibilità, per evitare tale inconveniente, di imporre il distacco generalizzato degli impianti da fonte rinnovabile, pratica che rappresenterebbe uno spreco di risorse rinnovabili, e sarebbe contraria a tutta la legislazione, italiana ed europea, che ne promuove invece il più ampio impiego.

La generazione distribuita offre comunque notevoli vantaggi, che compensano abbondantemente le problematiche, soprattutto iniziali, che la rete deve affrontare.

Uno dei pregi evidenti è la possibilità di continuare ad alimentare carichi elettrici anche quando sia venuta meno, a causa di un disservizio, l'alimentazione dalla rete. Un'utenza dotata di sistema di autoproduzione, e che prelevi dalla rete solo il surplus di energia richiesto, non risente di eventuali blackout della rete perché può funzionare ad isola. Questa possibilità presenta il vantaggio di non dover interrompere, ad esempio, la produzione, nel caso si tratti di un impianto industriale.

Un altro importante vantaggio della generazione distribuita è la possibilità di associare alla produzione elettrica la produzione di calore utile: la possibilità, quindi, di operare in “cogenerazione”.

E' noto infatti che la produzione di energia elettrica porta con sé una contemporanea produzione di calore che, soprattutto nei grandi impianti, viene generalmente disperso. Vediamo qualche esempio.

Negli impianti con turbine a gas, i fumi, dopo aver prodotto energia elettrica espandendosi nella turbina, vengono emessi in atmosfera a temperatura ancora elevata, dunque con un certo contenuto termico, spesso cospicuo. Similmente accade negli impianti con motori a combustione interna alternativi, in cui, peraltro, si hanno ulteriori fonti di calore, a temperatura più bassa, con l'olio di lubrificazione e il fluido di raffreddamento. Negli impianti con turbine a vapore, infine, il vapore, dopo essersi espanso nella turbina, viene fatto condensare e avviato alla caldaia per ricominciare il ciclo. Si rende quindi disponibile il relativo calore di condensazione.

Nella produzione elettrica tradizionale, tutte queste quantità di calore vengono smaltite mediante torri di raffreddamento, condensatori ecc., o semplicemente rilasciate nell'ambiente (come nel caso dei fumi caldi): vengono, insomma, dissipate, anche se, in molti casi si potrebbe utilizzare tale calore per processi industriali o applicazioni civili.

Una soluzione è rappresentata dalla cogenerazione, che permette di recuperare il calore associato alla produzione elettrica. Purtroppo, il calore non può essere agevolmente trasportato lontano dal luogo in cui è prodotto: durante il trasporto se ne dissiperebbe una gran parte, a meno di non utilizzare infrastrutture assai costose (ad esempio, reti di teleriscaldamento). Se si eccettuano alcuni casi particolari, quindi, la cogenerazione può praticarsi proficuamente soltanto ove vi sia, nelle vicinanze, un fabbisogno di calore. Fortunatamente, è assai frequente il caso di attività che richiedono sia energia elettrica sia calore. Si pensi, ad esempio, alla lavorazione della carta o a quella della ceramica, ma anche ai grandi centri commerciali, ai complessi ospedalieri, agli alberghi. In tutti questi casi, e in molti altri, è evidente la convenienza di dotarsi di un gruppo di generazione elettrica da impiegare in cogenerazione. Gruppi di questo genere sono in effetti assai diffusi e hanno potenza relativamente modesta, poiché ciascuno è dedicato a un'unica utenza (stabilimento industriale, ospedale ecc.). Stiamo parlando, insomma, di gruppi di "generazione distribuita". Tra i vantaggi offerti da quest'ultima va quindi senz'altro annoverato il fatto che essa rappresenta l'"ambiente" ideale per la cogenerazione, i cui benefici sono ben noti (risparmio di combustibile, minori emissioni di gas inquinanti e climalteranti).

Ma il più importante beneficio legato alla generazione distribuita consiste nell'ampia possibilità che essa offre di impiegare, pur con alcune cautele, le fonti rinnovabili di energia.

3. Impatto delle fonti rinnovabili sulla rete: limiti di penetrazione

3.1 L'esigenza di disporre di una “riserva”

Come noto, a parte alcune eccezioni, le fonti rinnovabili sono, per loro natura, “non programmabili”, perché strettamente dipendenti da eventi atmosferici. La loro disponibilità, infatti, dipende da condizioni atmosferiche solo parzialmente prevedibili, e comunque non modificabili, quali il levarsi del vento o le ore di insolazione. Tali fonti possono quindi essere utilizzate soltanto nel momento e per il tempo in cui si rendono disponibili.

Se dunque non è possibile scegliere a piacimento il periodo di tempo durante il quale produrre energia elettrica “rinnovabile”, l'impiego delle fonti rinnovabili non può essere oggetto di dispacciamento: al contrario, l'attività di dispacciamento deve tener conto di alcuni vincoli imposti dalle fonti rinnovabili.

Tutto ciò impone, nello sfruttare tali fonti, di cautelarsi contro l'eventualità che esse vengano improvvisamente a mancare (per un calo di vento, un repentino addensarsi di nubi ecc.). Occorre, cioè, disporre di una “riserva” basata su fonti diverse dalle rinnovabili, la quale sostituisca, in tempi assai rapidi, e quindi necessariamente in modo automatico, l'energia rinnovabile eventualmente perduta.

Ovviamente, l'esigenza di una riserva di energia non riguarda il solo impiego delle fonti rinnovabili, ma è molto più generale: nell'esercizio ordinario di una rete elettrica, non sono rari i fuori servizio improvvisi di qualche elemento della rete stessa, in particolare di grandi generatori. Il “deficit” di energia cui tali eventi danno luogo va prontamente eliminato, attingendo, appunto, alla riserva.

Per descrivere il metodo ordinario per costituire una riserva ricorreremo a un esempio.

Si consideri (Figura 4) una rete elettrica cui siano collegati, in un dato istante, dieci centrali di generazione. La centrale indicata con L è idroelettrica, priva di bacino di accumulo (“acqua fluente”); tutte le altre sono termoelettriche. Le potenze nominali (P_n) delle centrali e quelle dei singoli carichi sono riportate sulla figura stessa.

Il carico elettrico ammonta complessivamente a 296 MW: questo è anche il valore della potenza complessivamente prodotta dalle centrali. È noto, infatti, che, in una rete elettrica in condizioni di equilibrio, la produzione è pari in ogni istante al carico (a meno della potenza perduta, sempre trascurabile per ciò che qui interessa).

Si tratta, come è facile constatare, di una condizione di carico elevato, prossimo alla somma delle potenze nominali delle centrali. Ciò può indurre a pensare che esse stiano producendo la massima potenza di cui sono capaci. In realtà, non è così: quasi tutte vengono mantenute leggermente al di sotto della rispettiva potenza massima, proprio per costituire una riserva. Fa eccezione soltanto la centrale L, la cui potenza è determinata dalla disponibilità (non programmabile, mancando la possibilità dell'accumulo) della fonte primaria.

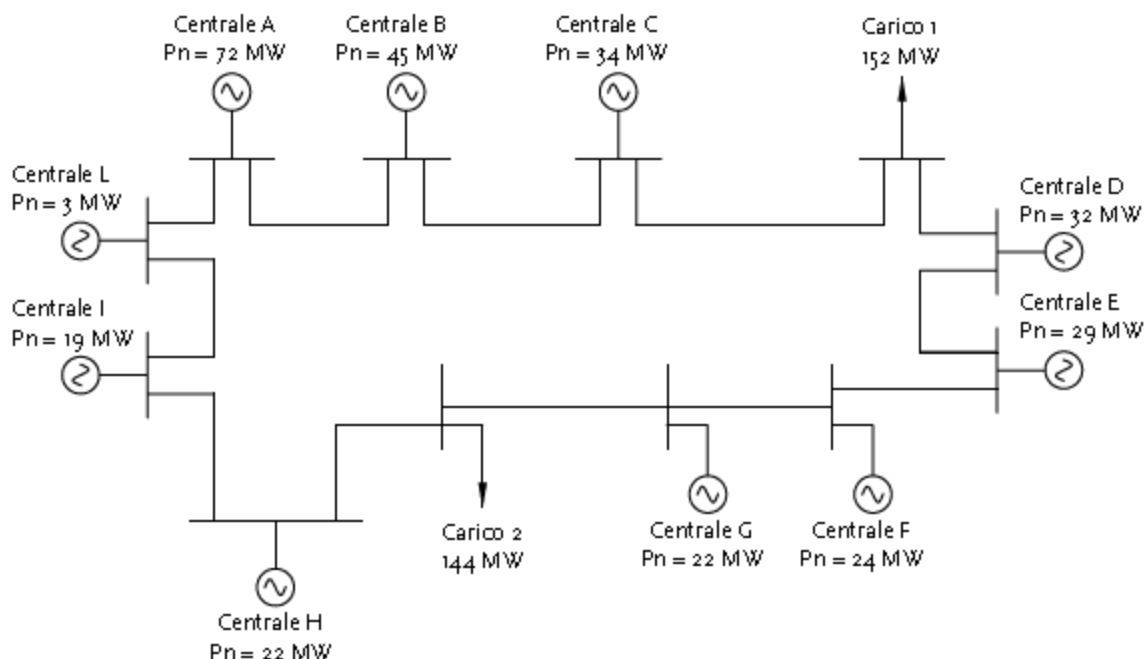


Figura 4 - Rete elettrica in condizioni di equilibrio.

Supponiamo che la centrale L si arresti per una diminuzione della portata d'acqua (regime torrentizio). Sulla rete l'equilibrio tra produzione e carico viene rotto; si manifesta uno squilibrio di circa 3 MW, pari alla potenza dell'impianto perduto. In ciascuna delle centrali rimaste in servizio, un dispositivo automatico ("regolatore di velocità"), rilevato tale squilibrio, provvede ad aumentare leggermente la produzione: l'aumento è possibile proprio grazie al margine di potenza non utilizzato di cui ogni centrale disponeva.

Per semplicità ometteremo di descrivere in quale modo ciascun regolatore di velocità determini l'aumento di potenza da imporre alla propria centrale. Basterà sapere che la somma di tali aumenti è pari alla potenza perduta: la produzione complessiva torna quindi in breve tempo al valore che aveva assunto prima della perdita della centrale (Tabella 1, colonne B e D): l'equilibrio è ripristinato. Ciò è stato possibile perché la riserva totale (somma delle riserve delle singole centrali) era superiore alla potenza perduta.

	Colonna A	Colonna B	Colonna C	Colonna D (B+C)
Denominazione	Potenza nominale	Produzione prima dell'evento	Potenza aggiuntiva	Produzione dopo l'evento
Centrale A	72	70,56	0,72	71
Centrale B	45	44,10	0,90	45
Centrale C	34	33,32	0,68	34
Centrale D	32	31,36	0,64	32
Centrale E	29	28,42	0,58	29
Centrale F	24	23,52	0,24	24
Centrale G	22	21,56	0,44	22
Centrale H	22	21,56	0,44	22
Centrale I	19	18,62	0,38	19
Centrale L	3	3,00	0,00	0
Totale (MW)	302	296,02	3,00	296

Tabella 1 - Distacco della centrale idroelettrica.

Supponiamo ora che il fuori servizio intervenga, anziché sulla centrale L, su quella A, a causa di un guasto improvviso: la potenza perduta è ora ben maggiore e la riserva totale non è sufficiente a far fronte alla perdita. Ciascun impianto, sotto l'azione del proprio regolatore di velocità, aumenta la produzione fino alla massima potenza (potenza nominale): ciononostante, la potenza complessivamente prodotta non raggiunge il valore precedente alla perdita della centrale (Tabella 2, colonne B e D). L'equilibrio è definitivamente rotto; entro un tempo brevissimo si verifica il collasso dell'intera rete.

	Colonna A	Colonna B	Colonna C	Colonna D (B+C)
Denominazione	Potenza nominale	Produzione prima dell'evento	Potenza aggiuntiva	Produzione dopo l'evento
Centrale A	72	70,56	0,00	0
Centrale B	45	44,10	0,90	45
Centrale C	34	33,32	0,68	34
Centrale D	32	31,36	0,64	32
Centrale E	29	28,42	0,58	29
Centrale F	24	23,52	0,24	24
Centrale G	22	21,56	0,44	22
Centrale H	22	21,56	0,44	22
Centrale I	19	18,62	0,38	19
Centrale L	3	3,00	0,00	3
Totale (MW)	302	296,02	4,54	230

Tabella 2 - Distacco della centrale termoelettrica A.

La riserva complessiva, insomma, deve essere maggiore della potenza che si ipotizza di dover sostituire. Se quest'ultima è troppo elevata, si è costretti a dedicare alla riserva una percentuale importante della potenza totale degli impianti. Le difficoltà che ciò comporterebbe sono molteplici. Alcuni tipi di impianto, soprattutto gli impianti termoelettrici, i quali, per le loro dimensioni, rivestono una particolare importanza nella costituzione di una riserva, devono necessariamente produrre una potenza superiore a un dato valore di “minimo tecnico”, al di sotto del quale intervengono fenomeni di varia natura (temperatura eccessiva in caldaia ecc.) che portano all'arresto a opera dei dispositivi di protezione. È, questo, un primo limite alla potenza che è possibile dedicare al servizio di riserva.

Peraltro, per i gruppi di produzione in generale, il regime di funzionamento cui corrisponde la massima efficienza è quello alla potenza nominale: man mano che ci si allontana da tale valore, il rendimento diminuisce rapidamente. Se, dunque, si facessero funzionare le centrali a potenza ridotta per costituire una riserva, si consumerebbe più combustibile del necessario, incrementando le emissioni di gas inquinanti e climalteranti.

Vi è, però, un limite ancora più stringente, che impone di far funzionare i generatori non solo al di sopra della potenza di minimo tecnico, ma anzi conservando un certo margine rispetto a essa.

Finora, descrivendo la riserva, abbiamo tacitamente inteso che si trattasse di riserva “a salire”: l'eventuale arresto di un generatore viene compensato aumentando la produzione di quelli rimasti in servizio. Tuttavia, la natura fluttuante delle fonti rinnovabili rende necessarie misure preventive anche contro un possibile incremento della produzione.

È, questa, un'eventualità complementare a quella descritta sopra: se, ad esempio, la velocità del vento aumenta improvvisamente, si riverserà in rete una maggior potenza di origine eolica. L'equilibrio della rete rischia nuovamente di essere rotto, questa volta a causa di un eccesso di potenza, anziché di una penuria.

Per evitare ciò, i generatori non eolici diminuiscono automaticamente le proprie produzioni in misura complessivamente pari alla potenza eolica aggiuntiva. Per le ragioni già descritte, però, la diminuzione non dovrà essere tale da portare i singoli generatori al di sotto dei rispettivi valori di minimo tecnico: da ciò nasce l'esigenza del margine che abbiamo menzionato (differenza, per un dato generatore, tra la potenza prodotta e quella di minimo tecnico), e che più correttamente chiameremo riserva di potenza "a scendere". Naturalmente, dedicando una parte della potenza alla riserva "a scendere", la si sottrae alla riserva "a salire", la quale risulta quindi ulteriormente limitata.

L'esempio fatto poc'anzi ha mostrato che l'esigenza di una riserva riguarda qualsiasi centrale. Tutte, infatti, possono arrestarsi improvvisamente, quale che sia la loro sorgente di energia, rinnovabile oppure di altro genere.

Ciò precisato, occorre però osservare che, per gli impianti "tradizionali" (quelli termoelettrici, ad esempio), un "fuori servizio" indesiderato non è un evento ordinario, ma è sempre conseguenza di guasti o malfunzionamenti. Lo si può quindi, se non evitare del tutto, almeno rendere raro, con un'accurata manutenzione periodica delle apparecchiature di centrale. Al contrario, per gli impianti da fonte rinnovabile, l'arresto rientra nel funzionamento normale, a causa della natura "capricciosa" del vento, del Sole, dei corsi d'acqua. È, insomma, un evento inevitabile, e anzi relativamente frequente. L'esigenza di disporre di una riserva è quindi particolarmente importante e urgente.

Tutto quello che siamo venuti esponendo finora può riassumersi schematicamente come segue:

1. la potenza di riserva (sia quella "a salire" sia quella "a scendere") non può, in una rete elettrica, superare un certo valore massimo, proporzionale alla potenza complessivamente connessa alla rete stessa;
2. d'altra parte, la riserva a salire deve essere maggiore della massima potenza che ragionevolmente si ipotizza di poter perdere;
3. allo stesso modo, la riserva a scendere deve essere maggiore della massima potenza non programmabile che può riversarsi in rete;
4. la potenza associata a fonti rinnovabili non programmabili va inclusa sia nella potenza che si ipotizza di poter perdere, sia in quella che può comparire spontaneamente.

Da tutto ciò consegue che la potenza da fonti rinnovabili può rappresentare solo una percentuale limitata dell'intera potenza connessa alla rete. Per aumentare tale soglia percentuale e, dunque, la penetrazione delle fonti rinnovabili nella rete, occorrerebbe rendere tali fonti programmabili. Ciò sarebbe possibile se si disponesse di sistemi per l'accumulo di energia: si potrebbe allora produrre e immagazzinare l'energia quando essa si rende disponibile in eccesso, e utilizzarla quando ve ne fosse la necessità, per far fronte a un incremento del carico o magari a un disservizio in rete. In altre parole, le fonti rinnovabili sarebbero in grado, anch'esse, di costituire una riserva di energia, sia pure in una forma particolare.

3.2 La possibilità di accumulare energia rinnovabile

Ma è davvero possibile accumulare l'energia da fonti rinnovabili? Vediamo, per ogni singola fonte, le possibilità e le prospettive.

Impianti idroelettrici

L'energia di origine idrica è quella che storicamente si è riusciti ad accumulare per prima. L'idea è concettualmente semplice: nel costruire una centrale idroelettrica in prossimità di un corso d'acqua, si realizza un bacino di raccolta ove l'acqua confluisce prima di essere impiegata per produrre energia elettrica. La produzione avverrà solo successivamente, prelevando dal bacino un'opportuna portata d'acqua. Sfortunatamente, i bacini di raccolta sono quasi sempre opere importanti e costose, che non si giustificano se non per potenze rilevanti: per centrali, quindi, del tipo descritto a proposito della generazione concentrata. Alle potenze piccole o piccolissime, e dunque alla generazione idroelettrica distribuita, la possibilità di accumulo è invece sostanzialmente preclusa.

Impianti fotovoltaici

Per gli impianti fotovoltaici la possibilità di immagazzinare energia è offerta da batterie di accumulatori. Esse vengono caricate direttamente dai pannelli fotovoltaici nelle ore di insolazione; riversano poi in rete l'energia immagazzinata grazie all'“inverter” di cui l'impianto è necessariamente provvisto. Anche in questo caso, tuttavia, i costi sono elevati in rapporto alla quantità di energia che si riesce ad accumulare. A oggi, come abbiamo visto, tale tecnica è applicata solo raramente.

Impianti eolici

Infine, gli impianti eolici. Sono forse quelli per i quali appare più remota la possibilità di accumulare energia. Di recente, tuttavia, una possibilità sembra essere comparsa.

Quando un generatore eolico è in rotazione, le sue pale, di massa e di lunghezza assai cospicue, contengono una notevole quantità di energia cinetica. Se, quindi, si desidera aumentare rapidamente la produzione elettrica, si può diminuire transitoriamente la velocità di rotazione, ad esempio variando, con un dispositivo automatico, l'orientamento delle singole pale rispetto al vento. Rallentando, le pale e le altre masse rotanti perdono una parte della propria energia cinetica, che si trasforma in energia elettrica grazie al generatore, e viene quindi immessa nella rete. Tale energia si aggiunge a quella che il generatore stava producendo prima del rallentamento. Naturalmente la velocità di rotazione non può discostarsi troppo, né troppo a lungo, dal suo valore normale.

L'energia aggiuntiva è quindi disponibile, al più, per alcune decine di secondi. È questa la durata tipica delle azioni automatiche immediate per far fronte a disservizi in rete: a tali azioni, dunque, ma solo a esse, i generatori eolici potranno, in futuro, offrire un contributo di rilievo.

Da quanto si è esposto, risulta con chiarezza che ancor oggi la diffusione delle fonti rinnovabili è limitata dalla modesta possibilità di accumularne l'energia.

3.3 I disturbi elettromagnetici

Un altro aspetto importante dell'impatto delle fonti rinnovabili sulla rete riguarda i disturbi elettromagnetici di vario tipo che esse e la generazione distribuita in genere possono arrecare.

Un primo tipo di disturbo è legato semplicemente alla natura fluttuante delle fonti rinnovabili, alla quale abbiamo già più volte fatto cenno. Oltre a turbare l'equilibrio della potenza in rete, la fluttuazione propria di queste fonti può provocare oscillazioni della tensione in varie zone della rete stessa.

In generale, infatti, il transito di potenza su una linea elettrica dà luogo a un naturale abbassamento ("caduta") della tensione. Le fonti rinnovabili, come sappiamo ormai, possono far subire alla potenza in transito sulla rete aumenti temporanei ma ripetuti. In tal caso la tensione cade per poi innalzarsi di nuovo, e così di seguito. Le oscillazioni di tensione, se di ampiezza eccessiva, possono impedire il buon funzionamento degli impianti connessi alla rete.

Un secondo tipo di disturbo è legato al fatto che, in molti casi, gli impianti a fonte rinnovabile sono connessi alla rete non direttamente, ma tramite dispositivi elettronici di potenza. Vediamo perché.

Per poter connettere alla rete un impianto fotovoltaico, è necessario trasformare la tensione continua prodotta dai pannelli nella tensione alternata sinusoidale di rete.

Quanto agli impianti eolici, quelli di moderna concezione sono liberi di variare la propria velocità di rotazione, per poterla adattare alle fluttuazioni della velocità del vento, e sfruttarne così appieno l'energia. D'altra parte, dalla velocità di rotazione dipende la frequenza della tensione prodotta: se la velocità è variabile, tale sarà anche la frequenza.

Occorre quindi trasformare la frequenza variabile del generatore in quella costante di rete.

Ancora: le microturbine a gas sono spesso caratterizzate da velocità di rotazione estremamente elevate (ad esempio, 70.000 giri al minuto). Per quanto visto poc'anzi, la frequenza del generatore sarà anch'essa elevatissima, e sarà ancora una volta necessario trasformarla in quella, ben più bassa, della rete.

La trasformazione della tensione continua in alternata (impianti fotovoltaici) e quella tra due tensioni alternate con diversa frequenza (impianti eolici, microturbine) si realizzano, come visto, mediante dispositivi elettronici di potenza. Tali trasformazioni sono inevitabilmente imperfette: la tensione alternata che ne risulta non è puramente sinusoidale, ma contiene una certa percentuale di "armoniche". Queste vengono iniettate nella rete attraverso il punto di connessione, e cominciano a propagarsi.

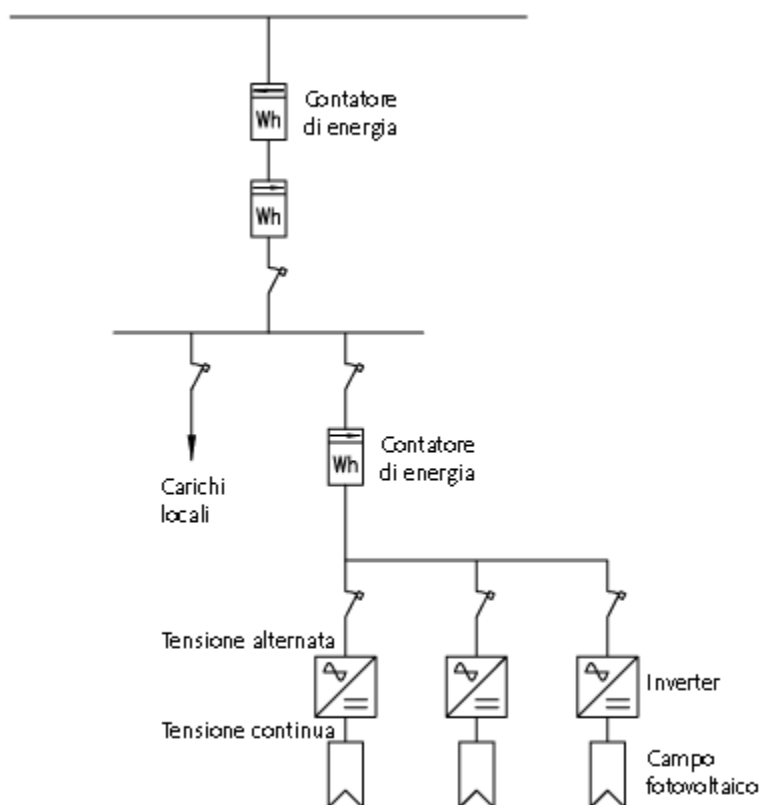


Figura 5 - Generatori fotovoltaici connessi alla rete di distribuzione.

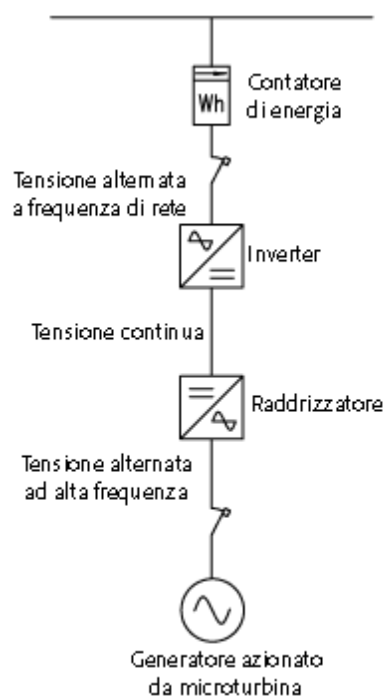


Figura 6 - Microturbina connessa alla rete di distribuzione.

Percorrendo la rete, possono raggiungere altri impianti, sia di produzione sia di consumo, e darvi luogo a malfunzionamenti di vario genere.

Affinché il disturbo arrecato sia accettabile, è necessario limitare fin dall'origine il contenuto armonico della tensione prodotta. Una soluzione, efficace solo parzialmente, consiste nell'impiegare opportuni dispositivi che “filtrano” l'energia prima che essa sia immessa in rete, sottraendole gran parte del suo contenuto di armoniche.

Un'altra possibile fonte di disturbi elettrici è lo squilibrio delle tensioni. La potenza spesso modesta degli impianti a fonte rinnovabile può indurre a preferire l'esecuzione “monofase” a quella “trifase” (irrinunciabile, quest'ultima, quando si tratti di potenze non piccolissime, ma più complessa e costosa della prima).

Il nome stesso suggerisce che gli impianti monofase vengono collegati a uno solo dei tre conduttori elettrici (“fasi”) che compongono la rete elettrica. La presenza di tali impianti fa dunque venir meno la simmetria tra le tensioni delle varie fasi. La “dissimmetria” così introdotta è tollerabile soltanto se limitata: quando è accentuata (ad esempio, a causa di un'eccessiva concentrazione di impianti su una stessa fase), essa può, ancora una volta, essere causa di malfunzionamenti presso i vari impianti connessi alla rete.

È immediato comprendere che l'unica misura possibile contro le dissimmetrie di tensione è un'attenta pianificazione della rete. A ciò può provvedere soltanto il Distributore, ripartendo in maniera equilibrata sulle varie fasi gli impianti monofase per i quali, man mano, viene richiesta la connessione.

È evidente, peraltro, che la pianificazione della rete è tanto più complessa quanto maggiore è il numero di impianti da connettere. Crescendo tale numero, diviene sempre più arduo, e infine impossibile, contenere la dissimmetria delle tensioni entro un livello accettabile.

Quelli che abbiamo descritto sono solo alcuni dei disturbi elettromagnetici che possono originarsi dagli impianti a fonte rinnovabile; ve ne sono infatti altri, dei quali, per brevità, non tratteremo. Diremo soltanto che, a oggi, l'unico modo per contenere efficacemente i disturbi è limitare la percentuale di potenza da fonti rinnovabili. È questo un ulteriore, importante limite alla loro penetrazione.

4. Sistemi di generazione innovativi: le Smart Grid e le Micro Grid

4.1 Generalità sulle Smart Grid

Abbiamo già esaminato alcune delle sfide che l'avvento della generazione distribuita pone (e sempre più porrà in futuro) alla rete elettrica di distribuzione.

Forse la principale di esse riguarda l'esigenza di gestire un numero assai elevato di piccoli generatori. Per fare ciò sarà necessario, anzitutto, rilevare le misure di numerosissime grandezze, che descrivono lo stato di funzionamento della rete in un dato istante: tra queste, le potenze prodotte dai vari generatori e quelle assorbite dai carichi.

Sarà poi necessario elaborare tutte queste informazioni per giungere a decisioni operative: quali sezioni della rete impiegare per ricevere la produzione di ciascun generatore, quali per alimentare i vari carichi ecc.

La mole stessa di tale insieme di informazioni esclude che il coordinamento della rete possa aver luogo in un unico centro remoto: esclude, quindi, la possibilità di un dispacciamento completamente centralizzato, analogo a quello che abbiamo descritto a proposito della rete di trasmissione. Occorrerà invece “distribuire”, almeno in parte, la facoltà decisionale sulla rete, dotando quest'ultima di apparecchiature periferiche in grado di prendere, o almeno di proporre, decisioni di esercizio.

La rete, con i generatori e i carichi che vi sono connessi, non sarà più un oggetto puramente passivo, ma acquisterà una certa intelligenza: le “reti intelligenti” (*Smart Grid*) rappresentano oggi la frontiera del progresso tecnologico nel campo dei sistemi elettrici.

Secondo una recente definizione, una Smart Grid è una rete elettrica in grado di integrare in modo intelligente le azioni di tutti gli utilizzatori che vi sono connessi (produttori, consumatori, produttori/consumatori) per fornire energia elettrica in modo sostenibile, economico e sicuro. Una Smart Grid fa uso di prodotti e servizi innovativi, e in particolare di tecnologie di controllo e di comunicazione intelligenti. I benefici sono molteplici.

La connessione e l'esercizio dei generatori, di qualsiasi taglia e tecnologia, vengono notevolmente facilitati. I consumatori hanno una maggior libertà nello scegliere le forniture di energia, grazie al maggior numero di informazioni di cui dispongono; possono così assumere un ruolo attivo nell'esercizio della rete. Infine, il sistema elettrico in generale è più affidabile e ha un minore impatto sull'ambiente.

Il concetto di Smart Grid può dunque applicarsi a qualunque rete elettrica, quale che sia il suo livello di tensione. Nel seguito ci si occuperà in particolare delle Smart Grid in media e in bassa tensione, quelle che più direttamente riguardano le fonti rinnovabili e la generazione distribuita.

In futuro, le Smart Grid saranno i “mattoni” che costituiranno la rete di distribuzione e saranno assai varie per estensione e per numero di componenti (generatori, carichi ecc.): potranno aversi, ad esempio, grandi reti

cittadine, reti di quartiere, e anche reti molto piccole (*Micro Grid*), al servizio, magari, di un singolo appartamento. Ciascuna rete, però, per quanto estesa, avrà comunque dimensioni limitate e si potrà gestire con una certa autonomia grazie alle apparecchiature intelligenti di cui è dotata. Sarà possibile avviare i generatori quando i carichi lo richiedono, oppure, al contrario, distaccare i carichi non critici quando vi sia penuria di energia (ad esempio, a causa delle naturali fluttuazioni delle fonti rinnovabili).

Sarebbe, però, un errore pensare alle Smart Grid come a tanti soggetti funzionanti separatamente, senza alcuna relazione reciproca. Nessuna rete può infatti mantenere stabilmente l'equilibrio elettrico tra i propri generatori e i propri carichi. Per compensare gli inevitabili squilibri, ogni Smart Grid dovrà essere collegata con altre, con le quali scambiare energia, e lo scambio dovrà necessariamente essere accompagnato da uno scambio di informazioni tempestivo e affidabile. Per questa e altre ragioni, il concetto di Smart Grid è quindi legato in maniera inscindibile a quello di trasmissione, in tutte le direzioni, di dati e informazioni.

Le Smart Grid non rimpiazzaranno il controllo centralizzato dell'intera rete. Al contrario, potranno svolgere un'utile opera di mediazione tra i generatori (e i carichi) distribuiti, da un lato, e un centro di controllo remoto dall'altro. Quest'ultimo potrà limitarsi a ricevere ed elaborare poche informazioni sintetiche fornitegli, appunto, dalle Smart Grid. Lungi dall'essere abbandonato, quindi, il controllo centralizzato potrà attuarsi in modo pieno ed efficace.

4.2 I vantaggi

Per analizzare compiutamente le opportunità offerte dalle Smart Grid, è utile descrivere con qualche dettaglio il funzionamento delle apparecchiature intelligenti cui abbiamo accennato. Si tratta, per lo più, di contatori elettrici di nuova concezione, i quali affiancano alla misura dell'energia, loro funzione "storica", numerose altre funzioni (*smart metering*). Uno Smart Meter può, ad esempio, ricevere un segnale esterno che ne faccia variare il regime dei prezzi in relazione alla disponibilità (e quindi al costo) dell'energia.

Consideriamo, ad esempio, la rete elettrica interna di un appartamento, la quale alimenti, tra l'altro, i carichi elettrici rappresentati da elettrodomestici (lavastoviglie, lavabiancheria).

Supponiamo inoltre che, come potrebbe avvenire in futuro, lo scaldacqua sia sostituito da un microcogeneratore, così da unire alla produzione di acqua calda la generazione di energia elettrica.

Durante le ore di carico elevato, il prezzo medio dell'energia, che sarà sempre più governato, in futuro, da meccanismi di mercato, sarà anch'esso elevato. Risulterà quindi conveniente tenere in funzione il cogeneratore per venderne alla rete la produzione elettrica (il calore prodotto andrà invece impiegato localmente, oppure accumulato, ad esempio sotto forma di acqua calda in serbatoio). Gli elettrodomestici saranno mantenuti inattivi, in attesa che il prezzo dell'energia diminuisca.

Supponiamo ora che, alzatosi il vento, si renda disponibile in rete una notevole quantità di energia di origine eolica. Il prezzo dell'energia tenderà ora a diminuire; dal centro di coordinamento giungerà allo Smart Meter un segnale che informa di tale nuova situazione.

Il contatore, a sua volta, potrà comandare l'arresto automatico del cogeneratore (che non è più conveniente mantenere in produzione) e l'avviamento, anch'esso automatico, degli elettrodomestici, per prelevare a buon mercato energia dalla rete.

Questo esempio ci offre l'occasione per alcune considerazioni generali sulle Smart Grid. Abbiamo già visto che la potenza immessa in rete sarà, in futuro, sempre più variabile, e subirà oscillazioni ricorrenti legate soprattutto a condizioni atmosferiche (quelle del vento e dell'irraggiamento solare, in particolare). Oltre a costituire un limite al diffondersi delle fonti rinnovabili, ciò obbligherà le imprese di distribuzione a sovradimensionare i componenti di rete (cavi, linee aeree, trasformatori ecc.) per evitare che subiscano riscaldamenti eccessivi in occasione dei picchi di potenza.

La presenza delle Smart Grid consentirà però una parziale compensazione: al comparire in rete di un eccesso di potenza non programmabile potrà corrispondere l'arresto della produzione programmabile (il microcogeneratore dell'esempio). I picchi di potenza saranno quindi meno accentuati; il sovradimensionamento e i costi aggiuntivi che esso comporta saranno più modesti.

Provvedimenti di esercizio come quello descritto, che consistono nel modificare la produzione per adeguarla al carico, vanno sotto il nome di "gestione dal lato della produzione" (*Supply side management*). Essi sono oggi in uso per la sola generazione concentrata; l'avvento delle Smart Grid ne consentirà l'estensione anche alla generazione distribuita.

Ma vi è di più.

Il Supply side management non è l'unico modo per mantenere l'equilibrio elettrico sulla rete. In presenza di una produzione fortemente variabile, quale quella da fonti rinnovabili, può essere di grande utilità introdurre anche la gestione "dal lato del carico" (*Demand side management*). Nel nostro esempio, essa consiste nell'avviamento e nell'arresto "intelligenti" dei carichi elettrici costituiti dagli elettrodomestici.

Impiegato su vasta scala, il Demand side management consentirà di alleggerire il carico elettrico nelle ore della giornata in cui esso è più elevato, trasferendone una parte alle ore in cui è modesto.

A differenza della gestione dal lato della produzione, il Demand side management rappresenta una novità pressoché assoluta, almeno in condizioni ordinarie di esercizio. La ragione si comprende facilmente. Soltanto alcuni dei carichi possono essere alimentati o disalimentati secondo l'opportunità del momento: sono quelli generalmente indicati come carichi "interrompibili".

Vi sono, viceversa, carichi non interrompibili, ai quali l'alimentazione va sempre garantita.

Si pensi, ad esempio, agli ospedali, ai centri di elaborazione dati, ai centri di controllo del traffico aereo ecc., ma anche, semplicemente, agli apparecchi illuminanti di un appartamento.

Nell'attuale assetto centralizzato della rete, il Demand side management richiederebbe la possibilità di inserire o disinserire i soli carichi interrompibili, senza interferire con gli altri. Si dovrebbe quindi poter distinguere tra loro i carichi dei vari tipi, e agire su ognuno di essi in modo specifico.

Una tale modalità di esercizio è oggi resa impossibile dall'estrema numerosità dei carichi sulla rete. Sarà invece possibile in futuro, con l'avvento delle Smart Grid. Ciascuna di esse controllerà un numero limitato di carichi, che potrà quindi trattare in modo distinto gli uni dagli altri.

4.3 Le sfide

Quali sfide si dovranno affrontare per giungere a una diffusione delle Smart Grid tale da recare effettivi benefici?

Abbiamo già visto che in futuro si avrà, prevedibilmente, una “rete di reti”, le quali scambieranno tra loro numerosissime informazioni. Sarà dunque indispensabile un “linguaggio” comune, che tutti i soggetti possano comprendere e impiegare; occorrerà, cioè, un protocollo di trasmissione unico e universalmente diffuso.

Si tratta di un obiettivo arduo: fino a oggi, lo scambio di informazioni, limitato e prevalentemente “locale”, ha potuto aver luogo anche nell’estrema varietà dei protocolli impiegati da produttori, distributori, consumatori di energia elettrica. Il linguaggio universale di domani non potrà semplicemente sostituirsi ai protocolli attuali; dovrà invece, per quanto possibile, integrarli in modo “indolore”, consentendo ai vari soggetti una transizione dal vecchio al nuovo che non comporti lo stravolgimento di procedure, banche dati, organizzazione del lavoro. Al tempo stesso, però, dovrà consentire l’impiego delle tecnologie, di comunicazione e non solo, che man mano compariranno all’orizzonte. Dovrà, insomma, essere dotato di grande flessibilità, così da far convivere il passato con un futuro in evoluzione sempre più tumultuosa.

È poi opinione comune che il protocollo del futuro si baserà su tecnologie già oggi impiegate in Internet. Tale circostanza offrirà gli evidenti vantaggi insiti nell’adottare una tecnologia già diffusa e sperimentata; porterà però con sé le fragilità già oggi note di tali tecnologie. Si dovranno temere soprattutto attacchi da parte di pirati informatici, che saranno resi più facili dalla grande diffusione dei punti di accesso alla rete telematica (gli Smart Meter già nominati). E ciò proprio in un’epoca in cui la riservatezza nelle comunicazioni assumerà un’importanza cruciale: si pensi, ad esempio, alle informazioni di carattere commerciale, indispensabili per acquistare e vendere energia elettrica nel nuovo regime di libero mercato.

Il tema della smart grid verrà affrontato nuovamente nella sezione III, nella quale verranno approfonditi alcuni concetti e esposte alcune tecnologie e servizi di ultima generazione.

SEZIONE II

L'EDIFICIO COME ELEMENTO BASILARE DELLA STRUTTURA URBANA

Capitolo 1

L'Edificio sostenibile: la scelta dei materiali e della disposizione

La progettazione sostenibile, o green, deve basarsi in primis sullo sfruttamento delle risorse naturali, discostandosi dalle pratiche progettuali e costruttive tipiche degli ultimi decenni, alla base delle quali vigeva il criterio di rispondere ad ogni esigenza tramite apparati artificiali, a discapito dei criteri costruttivi naturali.

La risorsa naturale per eccellenza è quella solare, che fornisce energia pulita, economica, illimitata, e permette di ottenere risparmi in termini di consumi elettrici e termici, se il suo sfruttamento viene programmato già all'atto della progettazione dell'edificio.

In questo senso, si parla di solito di architettura solare, intendendo con questo termine l'edilizia che utilizza la radiazione solare come fonte di energia per il riscaldamento e l'illuminazione e protegge con le sue forme dal surriscaldamento in estate. Attualmente, però, distinguere i vari campi di intervento non ha più senso ed è più corretto riferirsi alla progettazione sostenibile.

La sostenibilità nel costruire può essere ottenuta tramite:

- l'uso di tecnologie e materiali sostenibili
- lo sfruttamento di risorse sostenibili
- una complessiva sostenibilità dell'intero edificio o costruzione in generale, in relazione all'ambiente circostante.

I materiali e le tecnologie utilizzate nella costruzione sono elementi basilari della e devono possedere determinati requisiti: prima di tutto, la durata, che implica stabilità, solidità, resistenza all'usura, e, per quanto riguarda le tecnologie, la possibilità di essere utilizzate per lungo tempo senza perdite significative in termini di performance. E' bene, inoltre, che l'intervallo tra un intervento di manutenzione e il successivo sia più lungo possibile.

L'economicità, che non deve essere misurata in termini di prezzo d'acquisto, ma in relazione alla durata e alle performance ottenibili. La riciclabilità degli elementi, che, una volta smantellati, possono essere riutati tali e quali, rilavorati o riciclati.

Per “sostenibilità delle risorse” si intende invece che la costruzione preveda un buon rapporto costi-benefici in tutte le operazioni relative alla realizzazione dell'edificio, che la scelta del sito sia ben ponderata, in relazione alla disponibilità di servizi in loco (acqua, gas e rete elettrica, servizio di smaltimento rifiuti), all'accessibilità (presenza di reti di trasporto urbane/interurbane, vicinanza, presenza di servizi generici come scuole, negozi, ospedali etc), e alle condizioni ambientali, tenendo in considerazione il clima della zona, la presenza di venti, l'esposizione, l'umidità del terreno.

In ultimo, l'ambiente costruito deve avere caratteri generali di sostenibilità, e risultare salutare per chi lo abita, nonché confortevole e sicuro, cioè deve fornire a chi occupa l'ambiente condizioni favorevoli per ogni attività. A completamento del tutto, è necessaria una forte integrazione del costruito con l'ambiente circostante.

In merito agli elementi utilizzati nella costruzione, devono essere valutate le loro caratteristiche di ecologicità. La provenienza da materiali naturali, e non inquinanti, oltre alle caratteristiche di rinnovabilità della risorsa e la eventuale riciclabilità, devono accompagnarsi ad un basso valore di embodied energy (energia incorporata).

Per embodied energy si intende l'energia necessaria ad ottenere il prodotto finale a partire dalla materia prima, incluso il trasporto, la lavorazione, lo stoccaggio etc del prodotto. Un prodotto ottenuto con una minima necessità di energia risulta sicuramente più sostenibile rispetto ad un altro, la cui produzione richiede numerosi procedimenti. Sotto questo profilo, si possono distinguere:

- embodied energy iniziale, che rappresenta la quantità di energia non rinnovabile consumata nell'acquisizione della materia prima, la sua lavorazione, il suo trasporto e l'uso nella costruzione. A sua volta, questa componente si divide in diretta e indiretta, dove la prima è legata alla costruzione dell'edificio, e la seconda al materiale in sé.
- embodied energy ricorrente, che è riferita alla quantità di energia non rinnovabile utilizzata per la manutenzione, la riparazione e la sostituzione di componenti e materiali durante l'intero ciclo di vita dell'edificio.

Da quanto detto, si deduce che quanto più bassa è l'embodied energy nei singoli elementi, tanto più essi si avvicineranno a criteri di sostenibilità ambientale; e se questi fattori potevano essere, in precedenza, valutati come “a se stanti”, adesso, con edifici che tendono all'autosufficienza energetica e a consumi sempre più bassi, diventano fondamentali in un contesto generale di progettazione sostenibile.

1 La posizione dell' edificio

La scelta della posizione dell'edificio deve essere compiuta in base a parametri bioclimatici, come l'insolazione del sito, la ventosità, l'andamento delle precipitazioni. E' inoltre utile compiere un'analisi idrogeologica, per ottenere informazioni sulle caratteristiche del terreno, come umidità ed eventuale presenza di gas nocivi.

Tali informazioni permettono di scegliere la posizione ottimale dell'edificio, sia singolarmente, sia in relazione ad altre costruzioni limitrofe; in questo modo, non solo si compie il primo passo per garantire il comfort ambientale, ma si pone la base per considerazioni legate a contenere il consumo energetico dell'edificio, ed eventualmente adottare tecnologie attive per la produzione di energia.

Un'indicazione generale sulle condizioni climatiche locali, si può ottenere attraverso l'analisi dei gradi-giorno, riportati nell'allegato A del DPR 26 agosto 1993, n. 412, per i singoli comuni italiani. I gradi-giorno sono la somma delle differenze positive giornaliere tra la temperatura ambiente - convenzionalmente fissata a 20°C- e la temperatura media esterna giornaliera, per tutti i giorni del periodo annuale di riscaldamento. Quanto più alto è il numero dei gradi-giorno, tanto più freddi sono gli inverni del sito preso in esame e, di conseguenza, tanta più importanza dovrà avere il riscaldamento nella fase di progettazione di un edificio in tale zona.

1.1 Orientamento ed esposizione

L'orientamento dell'edificio varia in base alla zona climatica in cui si effettua la progettazione.

Con riferimento all'emisfero boreale, con zone a clima temperato, l'esposizione a sud su asse elioteramico (est-ovest) è quella che garantisce i migliori benefici in termini di guadagno solare, luminoso e termico, influenzando in modo netto sui consumi per l'illuminazione e per il riscaldamento/raffrescamento degli ambienti.

L'orientamento di un edificio viene definito mediante l'angolo azimutale (γ) che indica di quanto una facciata è inclinata rispetto al Sud.

Per procurare all'edificio il massimo apporto di energia solare, l'orientamento più vantaggioso è, senza alcun dubbio, quello verso Sud ($\gamma=0^\circ$). Posto nullo l'angolo azimutale, si ottiene il massimo apporto energetico sulle facciate orientate a sud durante l'inverno, quando il sole rimane basso nella volta celeste, e questo contributo risulta spesso sufficiente a riscaldare gli ambienti abitativi. In estate, invece, quando il sole è alto, le superfici vetrate verso sud tendono a captare meno radiazioni di quelle

orientate verso Est ed Ovest. In primavera e in autunno gli apporti sono ripartiti in misura quasi uguale su tutte le superfici verticali, ad eccezione di quelle orientate verso Nord.

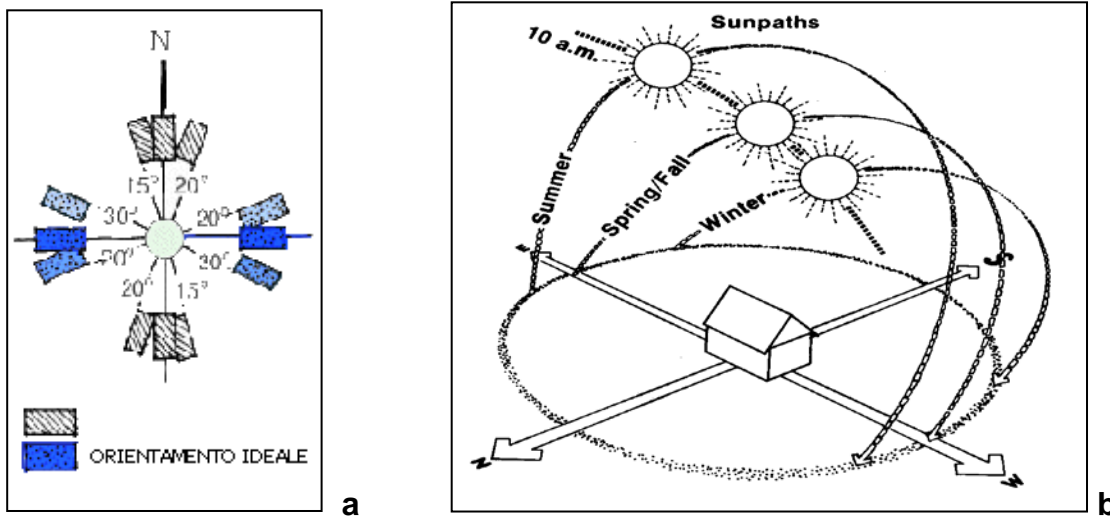


Figura 1 a - Orientamento ideale per l'edificio

Figura 1 b - Percorso solare nelle diverse stagioni

Per quanto riguarda le coperture, le falde del tetto esposte verso Sud sono le parti dell'edificio che, in estate, a mezzogiorno, ricevono il massimo della radiazione solare, in quanto, con una inclinazione che solitamente varia tra 20 e 30°, il Sole incide su queste superfici quasi perpendicolarmente. È necessaria, allora, una certa cautela in fase di progettazione poiché questo fatto può comportare degli eccessivi surriscaldamenti nella struttura portante dei tetti.

La scelta dell'orientamento potrà essere anche fatta basandosi sul modello di domanda del calore. Ad esempio, se la domanda di calore nel mattino è più bassa che nel pomeriggio, un orientamento verso sud-ovest può essere più vantaggioso. Dal grafico si può vedere quale sia l'andamento della radiazione solare giornaliera durante l'anno, e può essere utile a valutare la disposizione delle superfici.

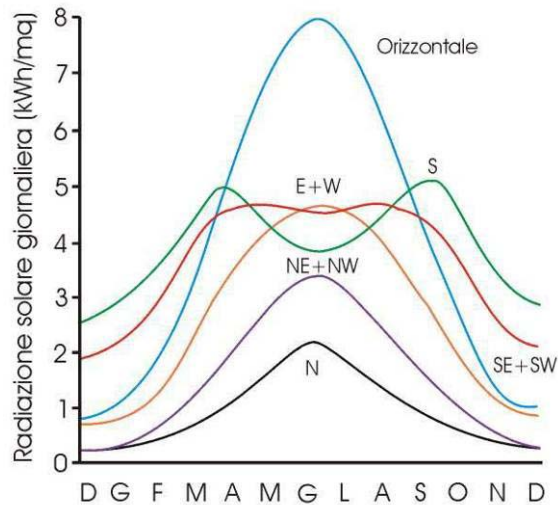


Figura 2 - Andamento della radiazione solare giornaliera nel corso dell'anno

Ulteriore parametro che influenza fortemente l'orientamento dell'edificio è l'orografia del sito, insieme alla vegetazione e ad altri elementi caratterizzanti il paesaggio. Questi fattori possono essere sfruttati non solo dal punto di vista panoramico, ma anche e soprattutto come elemento di controllo sulla radiazione solare, che sebbene debba essere sfruttata, non deve risultare eccessiva. Un' insolazione troppo forte, infatti, pur garantendo il riscaldamento dei locali nel periodo invernale, può causare spese eccessive per il raffrescamento, diventando una soluzione controproducente. Per impedire questo inconveniente, si cerca allora di schermare, dai raggi solari, l'edificio nelle ore più calde del giorno e il modo evidentemente più economico è sicuramente lo sfruttamento degli elementi paesaggistici naturali.

A questo proposito si possono usare i diagrammi solari che indicano la posizione del sole in dipendenza di parametri come latitudine, mese, ora locale e angolo azimutale; i diagrammi per latitudini diverse da quelle tabellate si possono ottenere per interpolazione.

L'ombreggiatura dell'area può essere, quindi, determinata tracciando il profilo dell'orizzonte locale sul diagramma solare. L'orizzonte si misura normalmente usando un orizzontoscopio o un teodolite (goniometro a cannocchiale destinato alla misura di precisione di angoli azimutali e zenitali): il primo permette una lettura diretta dell'orizzonte sullo schermo dell'apparecchio, mentre con il teodolite si deve stabilire, per ogni singolo punto dell'orizzonte, l'angolo azimutale e l'angolo d'altezza. Sovrapponendo, quindi, l'immagine paesaggistica circostante e il diagramma solare si avrà un'impressione esatta delle zone d'ombra che si vengono ad avere nei differenti periodi dell'anno.

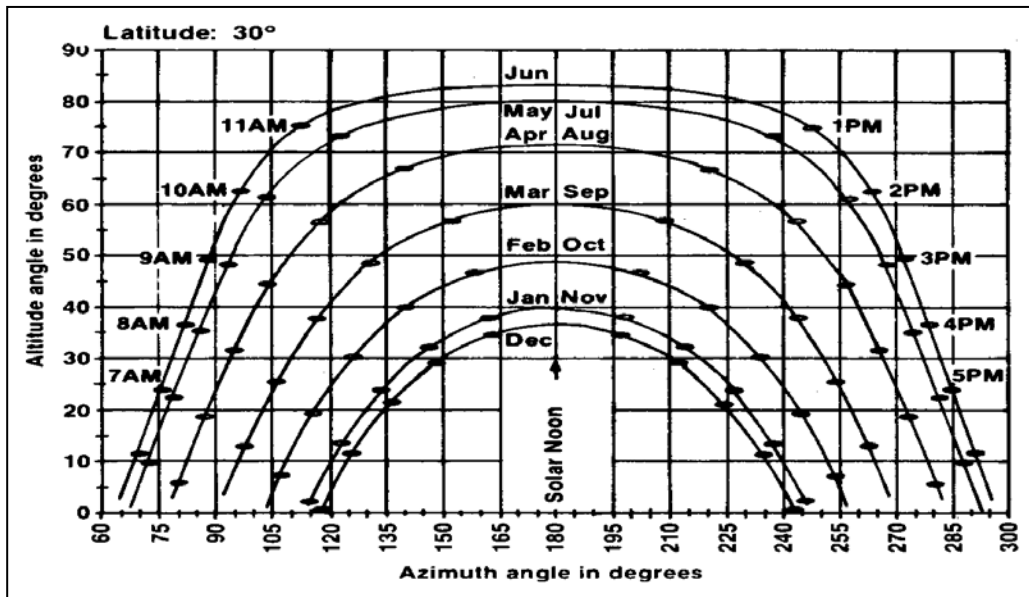


Figura 3 - Percorso solare apparente durante l'anno

1.2 La forma e la disposizione degli ambienti interni

Forma e compattezza dell'edificio incidono in particolar modo sui consumi energetici. Tale incidenza si può valutare attraverso il rapporto tra superficie complessiva $Stot$ e volume V_{tot} dell'involucro edilizio (SIV): $SIV = Stot / V_{tot}$.

Una casa compatta, quindi con SIV basso, avrà quindi dispersioni termiche minori, in quanto avrà una minor superficie esposta. Nel computo della superficie esposta hanno poi molta importanza le irregolarità dell'involucro dell'edificio, perché, oltre ad aumentare $Stot$, rappresentano le zone maggiormente disperdenti.

Se si vuole valutare la forma della costruzione dal punto di vista dello sfruttamento dell'energia solare, si può utilizzare l'indice della qualità solare (IQS) definito da W. Pokorny: $IQS = S_{sud} / Stot$, dove S_{sud} rappresenta la somma delle superfici attive proiettate su un piano orientato a Sud, e $Stot$ è, come già detto, la somma delle superfici attive e passive dell'edificio.

Per superficie attiva si intende la parte di superficie dell'involucro dell'edificio che riceve effettivamente radiazioni solari dirette, mentre la rimanente parte dell'involucro corrisponde alla superficie passiva.

E' inoltre utile porre attenzione alla disposizione dei locali interni all'edificio, secondo il loro utilizzo: si arriva, quindi, ad una suddivisione della struttura in zone climatiche differenti, calde e fredde.

Una prima classificazione degli spazi, data da esigenze termiche e d'illuminazione, prevede tre categorie: gli spazi serviti (come l'area giorno) che essendo i più abitati, hanno la necessità di essere caldi, gli spazi connettivi, temperati, e gli spazi di servizio, che possono rimanere freschi. Gli ambienti posti sul lato settentrionale saranno quelli per cui non serve riscaldamento o che, in ogni caso, necessitano di poco calore, ad esempio bagni, ripostigli, dispense e garage, come anche corpi scala, vani ascensore e locali tecnici. Questa disposizione permette la realizzazione di un settore dell'edificio con la funzione di cuscinetto termico.

Questi accorgimenti sono validi soprattutto quando è prevalente la necessità di riscaldamento. Viceversa, in una regione climatica calda e umida, il problema essenziale è un corretto orientamento, ai fini di un'ottima ventilazione naturale.

Tale logica di assetto degli ambienti è valida ed efficiente, per motivi termici, solo quando la differenza di temperatura, tra le zone calde e quelle fredde (con funzione di cuscinetto termico), sia di circa $5\div 8K$; se maggiore, il passaggio da una zona all'altra provocherebbe un forte disagio, se minore, renderebbe inutile la scelta della disposizione degli ambienti. Qualora si verificassero le suddette condizioni, possono essere creati i cosiddetti "vani intercapedine" (atri, giardini di inverno, serre), che, essendo molto esposti alla radiazione solare, mantengono un livello medio di temperatura.

Atrio: realizzabile tramite copertura vetrata su cortile interno, o su zona pedonale di passaggio; ha lo scopo di ridurre le perdite termiche, e il calore accumulato può essere convogliato nelle altre zone attraverso impianti di areazione. Durante il periodo estivo, conviene prevedere un sistema parasole per evitare il surriscaldamento.

Serra: solitamente, balconi chiusi tramite vetrate. La realizzazione di una serra permette un risparmio sul fabbisogno energetico pari al 15%, e garantisce una temperatura di circa $8-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ superiore rispetto all'esterno. La scelta dei vetri è fondamentale per massimizzare l'apporto dato dalla serra.

Giardino d'inverno: ampio spazio coperto da vetrate, ricavato da zona che altrimenti sarebbe esterna all'edificio; garantisce una temperatura ottimale sia d'estate che d'inverno, prevedendo una copertura per evitare il surriscaldamento e un sistema di ventilazione per garantire un apporto termico agli ambienti limitrofi.

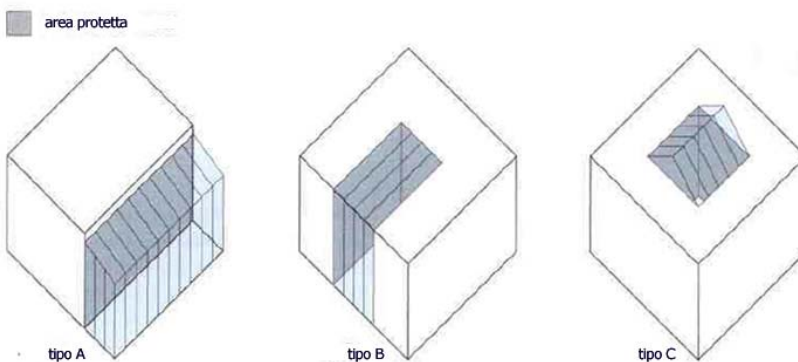


Figura 4 - Porzione di superficie protetta in base alla disposizione dell'atrio (tipologie B e C) o serra (tipo A).

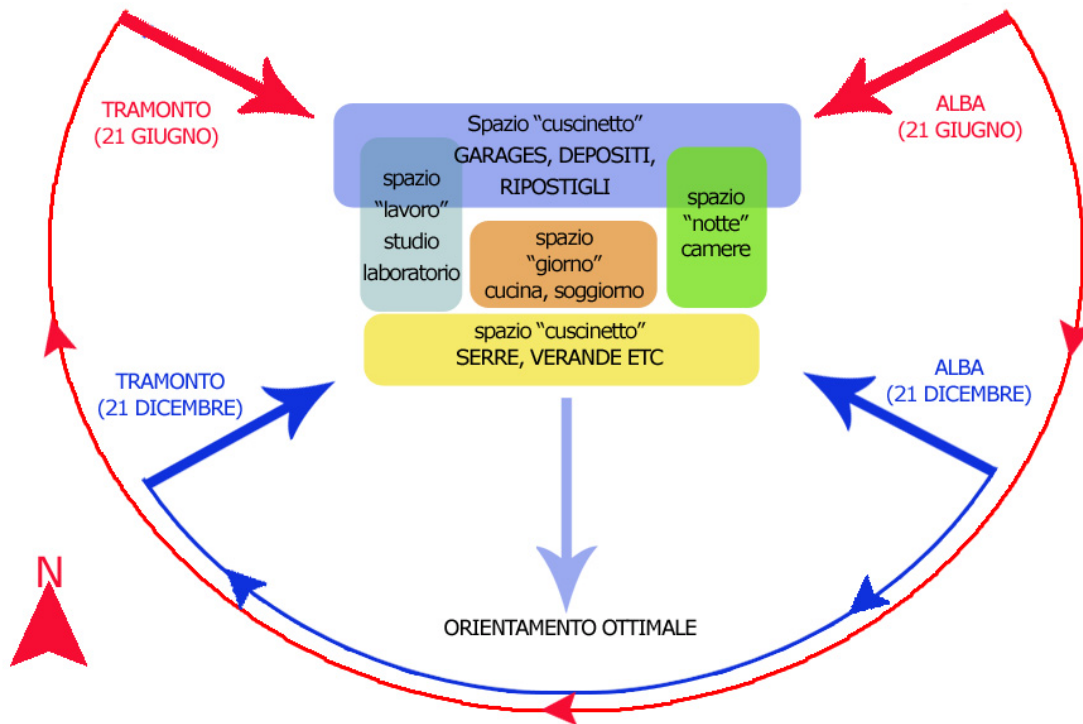


Figura 5 - Disposizione ottimale degli ambienti

2 Le pareti e gli isolamenti

L'involucro è uno dei punti "deboli" dell'edificio, al quale va riservato uno studio attento in fase progettuale, in modo da ottenere alte performance senza necessità di successivi interventi: si può valutare, infatti, che circa il 20% dei flussi termici (caldi o freddi) che penetrano negli edifici è dovuto a correnti incontrollate e a spifferi, causati da fenditure, crepe e interstizi, o cattive tenute di porte e finestre, mentre circa l'80% di essi attraversano tetti, pareti e solai. Una frazione importante di questi ultimi, circa un quarto, è data dai ponti termici, cioè le giunzioni di forma e materiale diverso, che rappresentano causa di rapida dispersione di calore e anche fenomeni di condensa, proprio per la repentina variazione localizzata delle temperature. Un intervento d'isolamento termico può, in questo caso, rendere più confortevole un alloggio e diminuire del 15÷25% le spese annue di combustibile per riscaldamento.

Spesso accade che il calore, generato dal riscaldamento nelle giornate fredde, non venga trattenuto dall'involucro, ma tenda piuttosto a disperdersi all'esterno; si può intervenire, quindi, potenziando la resistenza termica di pareti, finestre, e di tutti gli elementi che costituiscono l'involucro dell'edificio; allo stesso modo, si avrà beneficio anche in estate, quando la stessa resistenza termica impedirà al calore esterno di entrare e surriscaldare i locali abitativi.

Grandezze di riferimento per gli isolanti

Per i materiali utilizzati in edilizia, si fa solitamente riferimento ad alcuni parametri fondamentali concernenti l'isolamento termico e acustico.

Si definisce *conducibilità termica* di un materiale il rapporto tra il flusso di calore attraverso tale materiale e il gradiente di calore che tale passaggio di calore genera. Si indica con λ , e si misura in $W/m \cdot K$. La conducibilità di un materiale dipende solo dalla sua natura e non dalla sua forma.

La capacità isolante di un elemento è poi definita tramite la *trasmissione termica* U . Dato un fenomeno di trasmissione di calore in condizioni di regime stazionario (flusso di calore e temperature invariate nel tempo), la trasmissione misura la quantità di calore che nell'unità di tempo attraversa un elemento strutturale della superficie di 1 m^2 in presenza di una differenza di temperatura di 1 grado tra l'interno e l'esterno. U è direttamente proporzionale alla conducibilità termica del materiale, e inversamente proporzionale allo spessore del materiale, quindi aumenta al diminuire dello spessore ed all'aumentare della conducibilità termica; si misura in $W/m^2 \cdot K$.

Ulteriore caratteristica dei materiali isolanti è la *resistenza alla diffusione del vapore* μ , che indica quante volte il materiale è più isolante rispetto al vapore, se confrontato con uno strato d'aria ferma dello stesso spessore. Al crescere di μ , cresce l'impermeabilità del materiale al vapore.

La scelta dei materiali si rivela molto importante, anche in virtù delle tipologie di muratura esistenti, usate in base alla funzione delle pareti (portante, di tamponamento, divisoria) e delle caratteristiche della zona di costruzione (a rischio sismico o meno). In questa sede, il discorso viene limitato alle caratteristiche isolanti, tralasciando il comportamento strutturale dei diversi materiali.

Dal punto di vista costruttivo, le murature possono essere:

monostrato (a): lo spessore del muro è pari a quello dell'elemento costruttivo impiegato (un esempio sono i blocchi di grandi dimensioni);

a doppio strato o pluristrato (b): lo spessore della parete è ottenuto mediante due o più strati in laterizio, contigui o distanziati fra loro;

miste (c): gli strati sono compenetrati fra loro in modo da ottenere una struttura sufficientemente collegata.

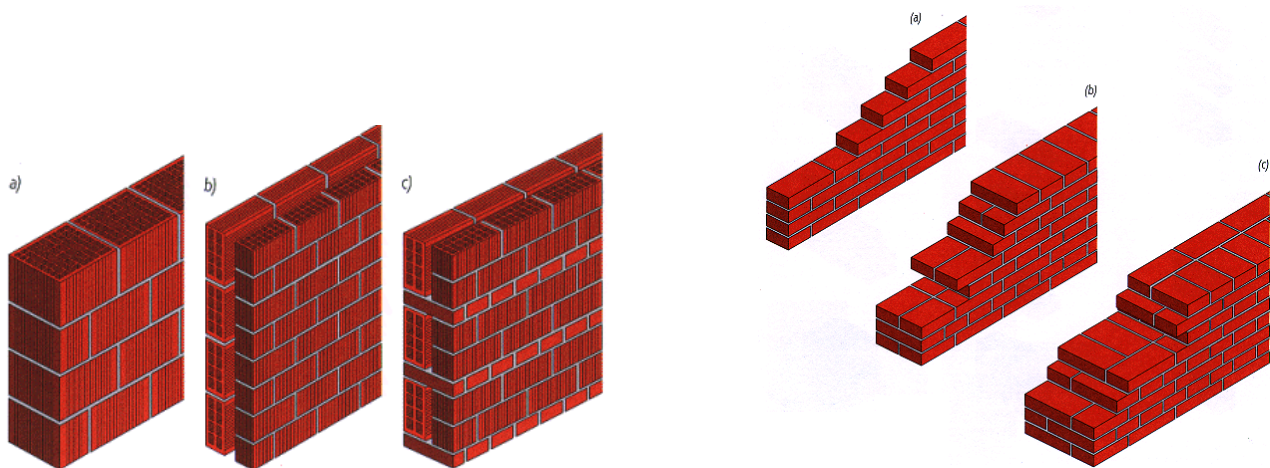


Figura 6 -Tipologie di muratura: a) monostrato; b) doppio strato; c) mista

Figura 7- Muratura monostrato a) a una testa; b) a due teste; c) a tre teste

Il termine “laterizio” viene utilizzato per indicare tutta la gamma di prodotti utilizzati per le costruzioni edili, come il classico mattone (pieno e forato), la pignatta, la tavella, la volterranea, il coppo, la tegola marsigliese.

L'utilizzo della muratura portante come soluzione costruttiva presenta diversi vantaggi rispetto alle altre soluzioni, grazie alle specifiche prestazionali dei blocchi in laterizio presenti sul mercato. Tali blocchi non forniscono solo garanzie di solidità statico-strutturale, ma possono vantare ottime qualità dal punto di vista dell'isolamento termico, dell'inerzia termica (accumulo del calore), della traspirabilità, dell'isolamento acustico, della resistenza al fuoco.

Le capacità termoisolanti di questi materiali derivano dalla presenza, all'interno dell'argilla cotta, di un alto numero di cavità contenenti aria, che ne aumentano la resistenza termica, rendendo superflua l'aggiunta di materiale isolante. La massa frontale delle pareti realizzate con laterizi ad alte prestazioni, inoltre, è paragonabile a quella di altre murature monostrato, garantendo così, oltre alla resistenza termica, notevoli doti di accumulo di calore e di inerzia termica, parametri fondamentali per il benessere degli occupanti l'edificio, sia in regime invernale che estivo.

Nel tempo l'uso del laterizio portante è andato arricchendosi di pezzi speciali e malte appositamente preconfezionate, al fine di dar luogo ad un prodotto finale dalle notevoli qualità statiche ed estetiche; la

cura dei dettagli della forma, degli incastri, nel numero e nelle dimensione dei vuoti, e nella capacità di trasmittanza che il manufatto è in grado di garantire, rende il sistema a muratura portante una soluzione idonea al benessere ambientale e alla durabilità nelle costruzioni.

In commercio si hanno anche laterizi forati e alleggeriti (laterizi porizzati) che vengono realizzati aggiungendo sabbia all'impasto tradizionale di argilla, cioè materiali di origine naturale a bassa granulometria (2-2,5 mm), che durante la cottura emettono gas e lasciano microalveoli vuoti, non comunicanti fra loro e uniformemente diffusi nella massa d'argilla. Questa microporosità conferisce al mattone un elevato grado di isolamento termico, elevata permeabilità al vapore e resistenza al gelo e al fuoco. Vengono utilizzati per murature perimetrali portanti e di tamponamento.

I materiali di origine naturale che vengono usati per creare la porizzazione del materiale sono la pula di riso, la sansa di olive, la farina di legno, la cellulosa. La porizzazione può essere ottenuta anche tramite materiali inorganici, quali ad esempio la perlite espansa, che garantisce un notevole potere isolante.

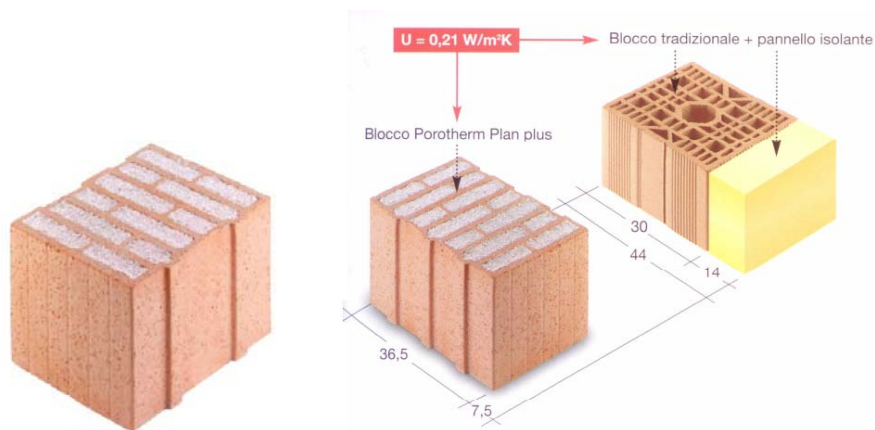


Figura 8 - a) esempio di laterizio porizzato a base naturale, con riempimento di perlite per un migliore isolamento termico, b) confronto, a parità di U, tra blocco porizzato con perlite e blocco tradizionale + pannello isolante: lo spessore della parete si riduce, nel primo caso, di 7,5 cm. (fonte: Wienerberger)

Il monoblocco può essere costituito anche tramite l'accoppiamento con materiali isolanti, quali ad esempio il sughero: si hanno perciò elementi in laterizio forato assemblati con aggancio metallico inframezzati da uno strato isolante in sughero, in modo da costituire un elemento a taglio termico completo. Lo spessore del blocco così ottenuto consente di realizzare una muratura portante, che pur offrendo un valido apporto strutturale, è in grado di ridurre lo spessore delle murature esterne, con un buon grado di isolamento termico e acustico.

2.1 L'isolamento dell'involucro

L'isolamento dell'involucro rimane comunque un punto cruciale, anche in virtù del fatto che molto spesso gli interventi vengono realizzati su strutture esistenti e non in fase costruttiva. Con un corretto isolamento, si possono ridurre le perdite del 75% circa.

La scelta di isolare dall'esterno o dall'interno, oltre che dal clima, dipende dall'edificio, dal materiale dei muri e dal tipo di riscaldamento e influisce sulla capacità della parete di accumulare calore. La prima soluzione, più efficace rispetto alla seconda, richiede tempi più lunghi, ed è quindi opportuno, nel caso di un edificio in costruzione, tenere in considerazione un isolamento a cappotto esterno.

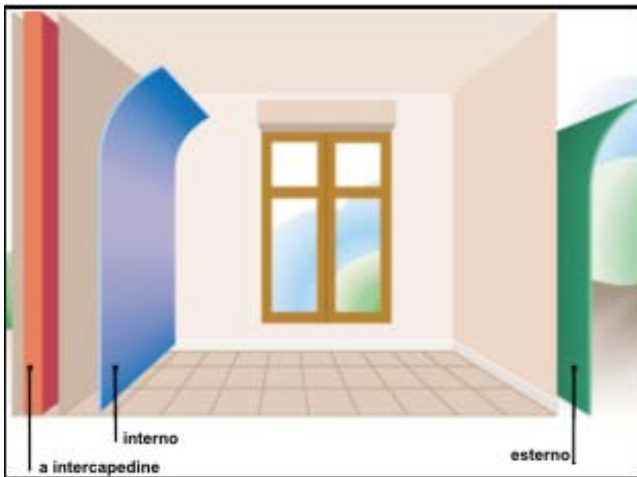


Figura 8 - Principali tecniche di isolamento delle pareti

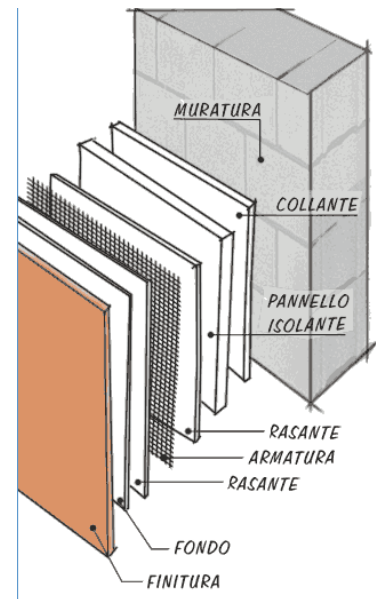


Figura 9 - Isolamento a cappotto: strati della muratura

L'isolamento dall'esterno è preferibile quando la casa deve resistere a temperature più rigide notturne ed è necessario accumulare più calore possibile di giorno. Oltre a evitare il passaggio del freddo, l'isolamento esterno ha la funzione di preservare la facciata da dilatazioni e fessurazioni a causa delle escursioni termiche.

L'isolamento esterno può essere realizzato “a cappotto” o tramite intercapedine.

L'isolamento a cappotto prevede l'incollaggio, lungo i muri esterni, di pannelli termoisolanti in fibra minerale o espanso rigido, con spessore minimo di 6 cm. Viene poi applicato un rinforzo composto da una rete d'armatura in fibra di vetro, annegata in una malta e poi rifinita con un intonaco protettivo e

rinforzato con tessuto di vetro: il sistema permette di eliminare gli sbalzi termici, evitare la formazione di condense e muffe, e aumentare il comfort termico dell'edificio consentendo un notevole risparmio energetico.

Il *sistema murario con intercapedine* è una delle tipologie più diffuse di isolamento delle pareti perimetrali ed è conosciuto anche con il nome di parete ventilata: è costituito da due pareti di spessori e materiali diversi (quella esterna è solitamente più spessa, circa 25 cm, e viene realizzata in cemento armato), separate da una camera d'aria al cui interno può essere posto un materiale isolante (di norma pannelli di lana di roccia). Si ottiene un buon isolamento, soprattutto dall'umidità, lasciando semplicemente un'intercapedine di circa 4 cm tra il muro interno e quello esterno, perché l'aria presente all'interno favorisce l'eliminazione di vapore. Nel caso in cui lo spazio vuoto all'interno della muratura venga riempito con materiale isolante, si parla di *muro a cassetta*, evoluzione dell'antico muro a sacco, caratterizzato da un riempimento di pietre e laterizi.

Lo spazio vuoto all'interno della muratura può essere isolato facilmente anche mediante la tecnica dell'insufflaggio, un intervento poco impegnativo ed effettuabile anche quando non si deve ristrutturare casa. La tecnica consiste nel praticare dei fori da 10 cm di diametro, a 20 cm dal soffitto, tramite i quali viene iniettato nell'intercapedine, con un getto a secco, un isolante in fibra di cellulosa compressa, prodotta con carta di giornali trattati con sali borici per renderla inattaccabile da muffe e parassiti.



Figura 10 - Muro a cassetta con riempimento in polistirene (fonte: stspolistiroli.it)

Qualora non sia conveniente operare con un isolamento esterno, si può ricorrere ad una coibentazione dall'interno, tramite l'applicazione di lastre di gesso accoppiato con materiale isolante, in modo da ottenere una contro-parete.

La realizzazione prevede l'applicazione su tutte le pareti perimetrali, e anche sul soffitto nel caso dell'ultimo piano, di lastre in sughero, o altro materiale coibentante e traspirante, come ad esempio il

cartongesso. Dopo aver fissato le lastre, vengono stuccate le fughe per evitare i ponti termici, infine si rasa il tutto con un prodotto livellante apposito, si intonaca e si tinteggia. La realizzazione è molto semplice e veloce, e non comporta perdite di spazio, in quanto i pannelli isolanti possono avere uno spessore che varia da 2 a 6 cm, ai quali si aggiungono circa 3 mm di intonaco.

In generale, l'isolamento con la controparete interna è meno efficace degli interventi di isolamento dall'esterno, e si presta in particolar modo ad ambienti usati saltuariamente.



Figura 11 - Controparete interna in cartongesso (fonte: cogemesnc.it)

2.2 Le tipologie di materiali isolanti

Nel mercato sono presenti tantissime tipologie di isolanti, che possono essere scelti in base alle singole necessità, ad esempio per peso, spessore, tipo di materiale.

In generale, gli isolanti vengono suddivisi in base alla modalità con cui vengono ricavati. Nella tabella sono riportati i principali isolanti in commercio.

	Materiale	Caratteristiche principali
Materiali termoisolanti d'origine minerale	Fibre di roccia e di vetro	Generalmente ininfiammabili e incombustibili, ma a temperature elevate i leganti sintetici producono gas tossici. Chimicamente e biologicamente inerti. A causa del loro facile assorbimento di umidità, vanno usati in luoghi asciutti e ventilati.
	Perlite espansa	Commercializzata in grani, è idrofuga, imputrescibile, incombustibile e, anche se non è degradabile, può essere riciclato.
	Vermiculite espansa	Incombustibile e riciclabile.
	Argilla espansa	$\lambda=0,12\div0,25 \text{ W/mK}$, con buone caratteristiche igroscopiche. Incombustibile e non tossica. Materiale inerte.
	Vetro cellulare	Resistente ad agenti chimici e biologici, non subisce l'umidità e non è tossico.
	Vetroceramica porosa	Durevole nel tempo, ininfiammabile, inerte, impermeabile e resistente a compressione.
Materiali termoisolanti d'origine vegetale e animale	Sughero naturale	Brucia ma non propaga l'incendio; riciclabile, ma se usati in agglomerati con aggiunta di leganti può risultare tossico.
	Trucioli di legno mineralizzati	Abbastanza resistente all'umidità, ma con i difetti del legno per gli incendi.
	Fiocchi di cellulosa	$\lambda=0,045 \text{ W/mK}$, carbonizza senza fumi pericolosi e frena l'espansione d'incendi grazie al trattamento con sali borici e la protezione con carta oleata previene l'assorbimento dannoso di umidità.
	Pannelli morbidi di fibre di legno	$\lambda=0,045\div0,056 \text{ W/mK}$, igroscopici, ma sensibili all'umidità. Ignifughi e non tossici.
Materiali termoisolanti sintetici	Polistirene espanso (EPS)	$\lambda=0,035\div0,040 \text{ W/mK}$, reso ignifugo da sostanze che però possono risultare tossiche; sensibile ai raggi UV e all'umidità; imputrescibile ma non facilmente riciclabile.
	Polistirene estruso (XPS)	$\lambda=0,030\div0,040 \text{ W/mK}$, additivi antifiamma producono gas tossici; impermeabile e imputrescibile; difficile riciclabilità.
	Pannelli di poliuretano (PUR)	$\lambda=0,020\div0,035 \text{ W/mK}$, non igroscopici, resistenti all'umidità, quindi utilizzati all'esterno anche perché emettono gas tossici in caso d'incendio; imputrescibile ma sensibile ai raggi UV e non riciclabile.

Tabella 1 - Caratteristiche dei materiali isolanti

In generale, gli isolanti devono essere:

- *termicamente inerti*, cioè mantenere la propria temperatura e il grado di assorbimento di calore inalterati. In questo modo hanno una maggiore durata nel tempo;
- *atossici*, ovvero non procurano alcun danno alla salute, anche a distanza di tempo, tramite, ad esempio, il rilascio di sostanze o gas nocivi;
- *resistenti* a crepe, fenditure o deformazioni e inattaccabili da parte di funghi, muffe, parassiti e roditori;
- *traspiranti* in quanto hanno funzione di regolatori dell'umidità e assorbono il vapore;
- *idrorepellenti* e resistenti al gelo;
- *resistenti* al fuoco. Il dato, qualora presente, è attestato dall'omologazione del ministero dell'Interno in classe 1 di reazione al fuoco;
- *a contatto* con altri materiali e componenti della struttura non devono, per esempio, favorire la formazione di macchie ed efflorescenze sui muri o sul legno o avere effetti corrosivi su parti e tubazioni metalliche.

Particolarmente attuali sono i materiali isolanti naturali e i prodotti da essi derivati con prestazioni di isolamento termico e acustico. Il maggior pregio dei materiali naturali di origine vegetale o animale è che sono traspiranti, dunque garantiscono un migliore comfort termo-igrometrico rispetto a quelli di sintesi. Tuttavia, non tutti i materiali naturali sono uguali: ve ne sono alcuni, pur validi, che non svolgono un'efficace azione fonoisolante, dunque richiedono un doppio intervento (termico e acustico), mentre ve ne sono altri, come il sughero, che proteggono dal freddo, dal caldo e dai rumori.

3 Il sole: la principale risorsa energetica

Si definisce *passivo* un sistema che sfrutta i componenti stessi dell'edificio per captare, accumulare e distribuire il calore solare, nonché la luce naturale, senza l'istallazione di impianti ausiliari. Tale prassi prende il nome di *guadagno solare* e può essere di tipo *diretto* e *indiretto*.

Un'ampia superficie vetrata rivolta verso sud è un semplice esempio di *guadagno passivo diretto* dell'energia solare, così come i già menzionati giardini d'inverno e gli isolamenti termici trasparenti. Quanto più grande è la capacità termica specifica e la conduttività dei materiali, più sono scure le superfici investite dai raggi solari, maggiore risulta il calore accumulato. L'immagazzinamento del calore dipende dai materiali usati: per una maggiore inerzia termica, è bene scegliere materiali pesanti.

Un parete solare costituita da vetro, e -dietro di essa- una massiccia parete di accumulo (10-20 cm di spessore), è invece un esempio di *sistema passivo indiretto*. In particolare, questo sistema è conosciuto come "muro di Trombe". Il calore raccolto dalla parete, che di solito viene realizzata con un colore scuro per facilitare l'accumulo di calore, viene distribuito agli ambienti interni per convezione ed irraggiamento. Questo accade nel momento in cui la temperatura delle pareti diventa superiore rispetto alla temperatura degli ambienti, cioè di sera e di notte, così come nei giorni di cattivo tempo. Il calore in eccesso, quando l'aria esterna non è troppo calda, può essere fatto uscire per ventilazione.

Il guadagno solare ottenuto applicando dei sistemi solari passivi è la differenza tra la quantità di energia solare utile in ingresso nell'edificio e le dispersioni di calore dello stesso.

3.1 Guadagno solare diretto

Si è già detto che la progettazione deve partire dal presupposto di ottimizzare gli apporti solari, con una massimizzazione di energia incidente nella stagione fredda e sua minimizzazione in quella calda. La posizione delle finestre e degli ambienti interni deve concorrere a questo risultato, così come la verifica dell'ambiente circostante deve essere finalizzata a tale ottimizzazione.

Si può dire dunque che l'edificio si comporta al pari di un "collettore" solare, che, come noto, dà le migliori prestazioni quando è disposto correttamente.

La massimizzazione dell'energia solare utile può essere ottenuta anche tramite:

- l'installazione di riflettori solari;
- l'uso di vetrate con elevata trasmittanza della radiazione;
- la scelta di un sistema ad elevato assorbimento della radiazione solare.

Inoltre, per ridurre le dispersioni, si possono scegliere:

- vetrate a bassa conduttanza termica;
- schermi isolanti mobili.

3.2 Le finestre

Nella progettazione degli edifici, le aperture per la vista e la luce sono state a lungo considerate come punti deboli dal punto di vista termico. Nonostante i passi avanti nella produzione di pannelli vetrati, questo problema rimane: le radiazioni a onda corta che passano attraverso il vetro non sono sempre gradite. La trasmittanza U di un elemento dipende fortemente dal valore di resistenza termica del materiale di cui è composto, e nel caso del vetro tale valore è molto basso: ciò significa una buona attitudine al passaggio di calore. Oltre alla trasmittanza termica U , per le finestre ci si riferisce ad altri due parametri:

- trasmittanza solare globale g : percentuale di energia luminosa che il vetro lascia passare;
- trasmittanza luminosa τ : percentuale di luce naturale incidente sul serramento, che penetra all'interno dell'ambiente.

Tipo di vetratura (vetro esterno, gas, vetro interno)	$U [W/m^2 K]$	g	τ_v
Singolo chiaro (vetro float 3 mm)	5,9	89%	90%
Vetro doppio chiaro (6 mm + 12 mm aria + 6 mm)	2,6	75%	81%
Vetro doppio specchiato (6 mm + 12 mm aria + 6 mm vetro basso emissivo)	1,5	58%	71%
Vetro doppio specchiato (6 mm + 16 mm argon + 6 mm vetro basso emissivo)	1,1	56%	54%
Doppio vetro a controllo solare soft coating (6 mm spettro selettivo + 16 mm argon+6 mm)	1,1	31%	48%
Doppio vetro a controllo solare hard coating (6 mm spettro selettivo + 12 mm aria +6 mm)	2,6	46%	48%
Triplo vetro (6 mm vetro basso emissivo + 16 mm argon + 6 mm float + 16 mm argon + 6 mm vetro basso emissivo)	0,6	36%	62%

Tabella 2 - Valori tipici di prestazione di sistemi vetrati comuni e avanzati

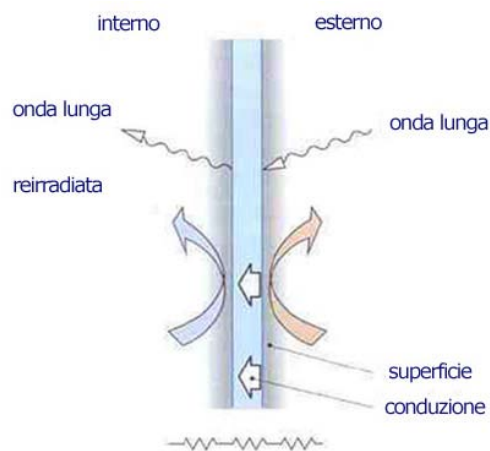


Figura 12 - La trasmissione di energia attraverso la superficie vetrata

L'alto valore di trasmittanza U e la bassa inerzia termica sono da un lato sinonimo di una scarsa attitudine a conservare energia, dall'altro permettono al vetro di fornire un valido contributo nel guadagno solare, che può bilanciare le perdite termiche a basse temperature esterne.

Il progresso tecnologico che ha caratterizzato la produzione del vetro negli ultimi anni ha reso disponibili vetri ad alta efficienza energetica che sono in grado, rispetto al tradizionale vetro chiaro *float*, di ridurre le perdite termiche garantendo un maggior grado di isolamento dalle variazioni di temperatura esterna (bassa trasmittanza U), nonché di abbattere sensibilmente il fattore solare limitando il surriscaldamento interno dovuto all'effetto serra (strati riflettenti o auto-opacizzanti).

Per sfruttare al massimo l'illuminazione naturale sono stati sviluppati vetri ad elevata trasparenza adatti ad aumentare il fattore solare nei climi freddi, grazie alla radiazione termica diretta, e contemporaneamente ad isolare dalle temperature esterne: si tratta di doppi vetri con rivestimenti selettivi caratterizzati da un valore U che oscilla tra 1,5 e 2,3 $\text{W/m}^2\text{K}$, a cui corrisponde un fattore di trasmissione luminosa compreso tra il 70 ed il 90%. Per l'ottimizzazione del fattore di trasmissione solare in funzione delle condizioni climatiche esterne o delle richieste da parte degli utilizzatori, sono in corso di sviluppo dispositivi come quelli elettrocromici (EC), i quali sono in grado di variare le proprietà ottiche come la trasparenza al variare della differenza di potenziale cui sono sottoposti.

Particolari proprietà fisico-chimiche di determinati materiali polimerici, inoltre, sono utilizzate per la produzione di dispositivi come quelli cromogenici e termocromici, caratterizzati da proprietà dinamiche passive (non è richiesta alcuna alimentazione esterna per variare le caratteristiche ottiche, che mutano con il cambiamento delle condizioni di illuminazione o di temperatura). Vengono anche

prodotti materiali isolanti trasparenti come gli aerogel o i TIM (Transparent Insulating Materials), che possono garantire un valore di trasmittanza U molto vicino a quello di una tradizionale parete opaca ($0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$), pur garantendo allo stesso tempo un buon livello di trasmissione luminosa.

Il settore dei materiali trasparenti innovativi è dunque in continua evoluzione: lo scopo è garantire, attraverso lo sfruttamento di particolari proprietà e la combinazione di principi e funzioni, un notevole miglioramento nel rendimento prestazionale degli strati che compongono l'involucro.

A questi si aggiungono poi le diverse soluzioni di protezione solare e le schermature, che saranno analizzate in seguito.

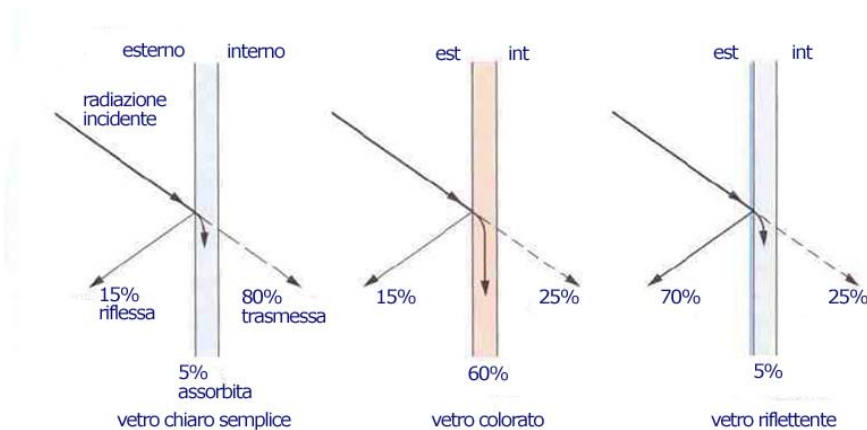


Figura 13 - Suddivisione della radiazione in base al tipo di vetro usato.

La vasta gamma di soluzioni disponibili e combinazioni di esse può essere divisa in alcune categorie tipiche. Un criterio di classificazione è quello di suddividere le soluzioni in base al numero di strati utilizzati. Un secondo criterio è dato dal posizionamento dei dispositivi di schermatura solare. Vi sono involucri a singolo strato con schermatura esterna o interna, o integrata all'interno dei pannelli. Nel caso di strati multipli, come cavità ventilate o doppio strato, generalmente le schermature sono posizionate all'interno degli strati.

Per un approfondimento, si rimanda all'allegato 2 della sezione.

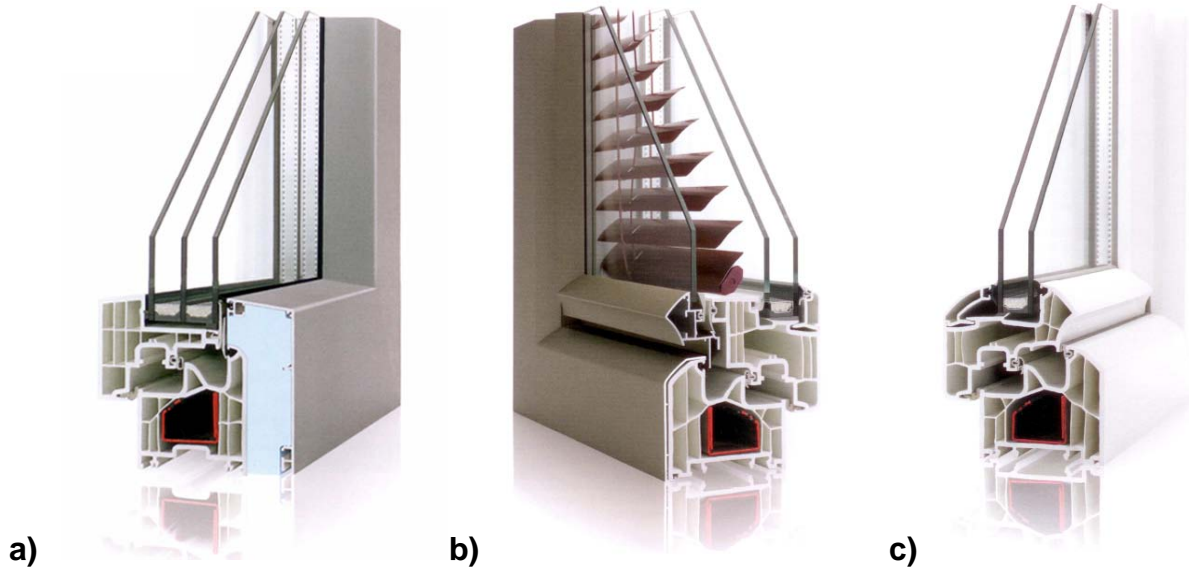


Figura 14 - a) sistema a doppio strato b) sistema a triplo strato c) sistema a triplo strato con sistema oscurante integrato. L'isolamento termico dipende dal materiale del serramento (PVC, PVC/alluminio, alluminio legno) e dai vetri utilizzati. In generale, per il tipo a) si ha isolamento termico U_w fino a $0,78 \text{ W/m}^2\text{K}$, per b) $U_w = 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$, per la tipologia c) $U_w = 0,89 \text{ W/m}^2\text{K}$.

3.3 Riflettori solari, isolamenti e schermature

L'irraggiamento captato da un'apertura solare può essere aumentato posizionando un riflettore di fronte alla parete vetrata. I riflettori possono essere superfici metalliche, possibilmente protette da un materiale trasparente, o, in alternativa, strati di acqua o superfici di colore chiaro. La riflessione può essere speculare o diffusa: in particolare, le superfici metalliche lucidate danno una riflessione principalmente speculare, mentre per la maggior parte delle altre superfici la componente principale è quella diffusa.

L'angolo del riflettore metallico può essere regolato in funzione della massimizzazione del guadagno solare nella stagione fredda, prestando però particolare attenzione ai problemi di abbagliamento. In questo senso, può essere utile l'installazione di un riflettore a diffusione, che ha riflettanza generalmente minore.

Riflettanza di un materiale ρ : rapporto tra flusso radiante riflesso e flusso radiante incidente su una data superficie. Esprime cioè la percentuale di luce incidente che una data superficie è in grado di riflettere.

La somma di riflettanza ρ , trasmittanza τ e assorbanza α è sempre unitaria, poiché rappresenta la totalità del flusso radiante incidente.

$$\rho + \tau + \alpha = 1$$

La tabella 15 fornisce la riflettanza speculare ρ di diversi materiali. Nella tabella 16, la riflettanza in funzione dell'angolo di incidenza, nel caso dell'acqua. Si nota come al crescere dell'angolo di incidenza, cresca la riflettanza, che non riesce comunque a superare un valore di 0,35.

materiale	ρ
Alluminio lucidato	0,95
Vernice Bianca	0,87
Vernice all'alluminio	0,70
Vernice giallo chiaro	0,70

Tabella 3 - Riflettanza speculare per alcuni materiali o tipi di superfici

Angolo di incidenza	Riflettanza
0	0,02
45	0,03
60	0,06
75	0,21
80	0,35

Tabella 4 - Riflettanza superficiale dell'acqua per diversi angoli di incidenza e con indice di rifrazione $n=1,333$

Per quanto riguarda la funzione di barriera termica, possono essere utilizzate schermature diverse dai semplici materiali trasparenti. La funzione di tali schermi è la protezione dal calore, nella stagione calda, e il suo accumulo durante la stagione fredda, quando la radiazione solare è minore o assente; in generale, è bene prevedere isolamenti di tipo mobile, per permettere maggiore versatilità di uso e manutenzione più semplice.

Lo schermo più semplice è la tenda, di cui è possibile migliorare la resistenza termica aggiungendo strati a bassa emissività, usando speciali materiali isolanti o curando il dettaglio dei bordi.

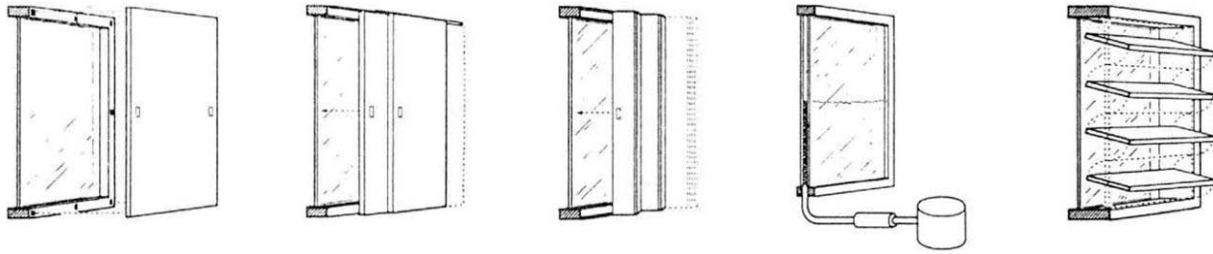


Figura 15 - Isolamenti mobili interni: pannello semplice, sistema di pannelli scorrevole, a soffietto, riempimento tipo beadwall, veneziane

Gli isolamenti mobili interni possono causare la formazione di condensa sui vetri e, in alcuni casi, rotture del vetro, qualora l'isolamento posto dietro la vetrata non venga rimosso durante il periodo di soleggiamento (con conseguente stress termico del vetro). Per sistemi vetrati a più strati, possono essere inseriti isolamenti mobili quali drappi, fogli di materiale a bassa emissività, tendine avvolgibili e "beadwall", ossia un riempimento di perline di polistirene pompate con mezzi meccanici nell'intercapedine di notte e rimosse di giorno.

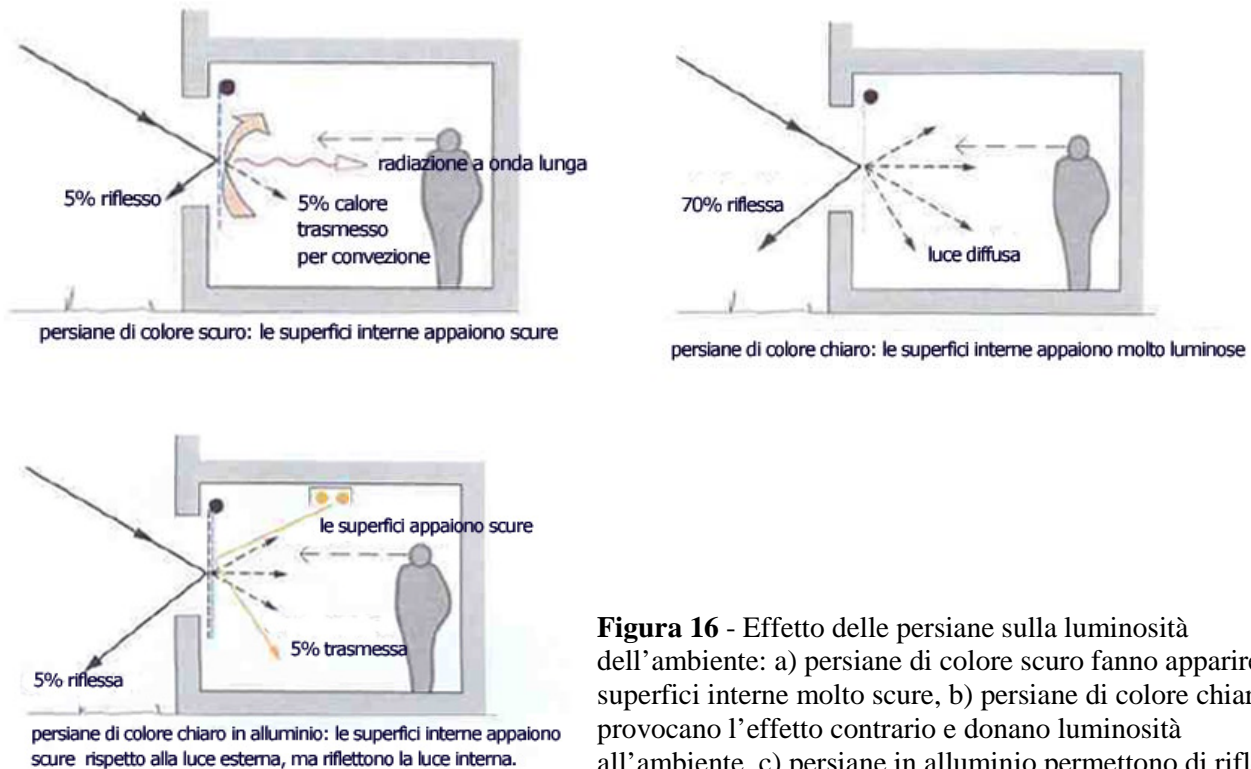


Figura 16 - Effetto delle persiane sulla luminosità dell'ambiente: a) persiane di colore scuro fanno apparire le superfici interne molto scure, b) persiane di colore chiaro provocano l'effetto contrario e donano luminosità all'ambiente, c) persiane in alluminio permettono di riflettere la luce interna con un risultato finale di luminosità

Le schermature interne consentono di riparare dalle luci abbaglianti, ma non sono efficaci contro il surriscaldamento: una volta che la luce ha attraversato il vetro ed raggiunto l'ambiente interno, diventa infatti calore. Se questa trasformazione porta vantaggi nel periodo invernale, al contrario, durante la stagione estiva, provoca fenomeni di surriscaldamento e si rende necessaria una asportazione del calore mediante impianti di ventilazione meccanica o di climatizzazione.

Il discorso cambia per i pannelli isolanti mobili da installare all'esterno, che devono necessariamente resistere ai vari agenti atmosferici: pioggia, vento, ghiaccio e raggi ultravioletti. Il vantaggio di tali sistemi risiede però nella completa assenza di problemi di condensazione e stress estivo; per ottenere un isolamento efficace è necessario che la camera d'aria abbia i contorni ben sigillati.

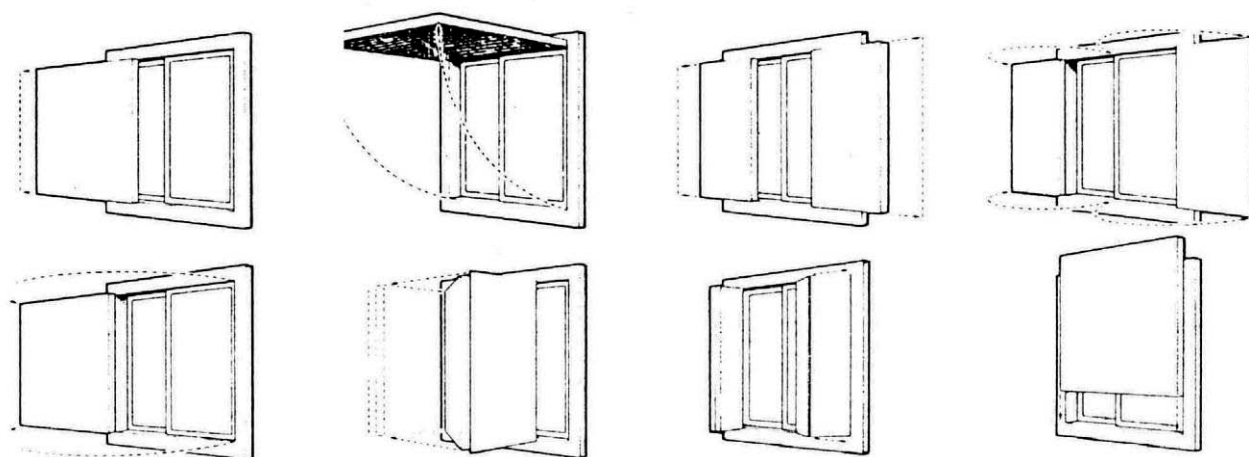


Figura 17 - Isolamenti mobili esterni. Prima fila: pannello scorrevole singolo, basculante, coppia di pannelli scorrevoli e a battente; seconda fila: anta singola a battente, sistema singolo e doppio a soffietto, pannello singolo scorrevole dall'alto.

Il tempo richiesto all'utilizzatore per aprire e chiudere la maggior parte di questi sistemi è considerevole: è quindi consigliabile l'installazione di sistemi a controllo meccanico.

E' più utile, a tal fine, rivolgere la scelta verso le schermature esterne, che possono essere fisse o mobili, orizzontali o verticali.

Schermi fissi

La schermatura più efficace per una finestra rivolta a sud è quella orizzontale, mentre per le finestre rivolte ad est oppure ovest conviene scegliere schermi verticali. I dispositivi più semplici sono gli aggetti ed i frangisole. Il difetto principale degli schermi fissi è che l'entità della schermatura è

determinata dalle stagioni solari, piuttosto che da quelle climatiche, e ciò produce effetti schermanti anche in periodi in cui è richiesto un riscaldamento passivo. Inoltre, gli schermi fissi tagliano sempre una parte della radiazione diffusa, riducendo l'illuminazione naturale.

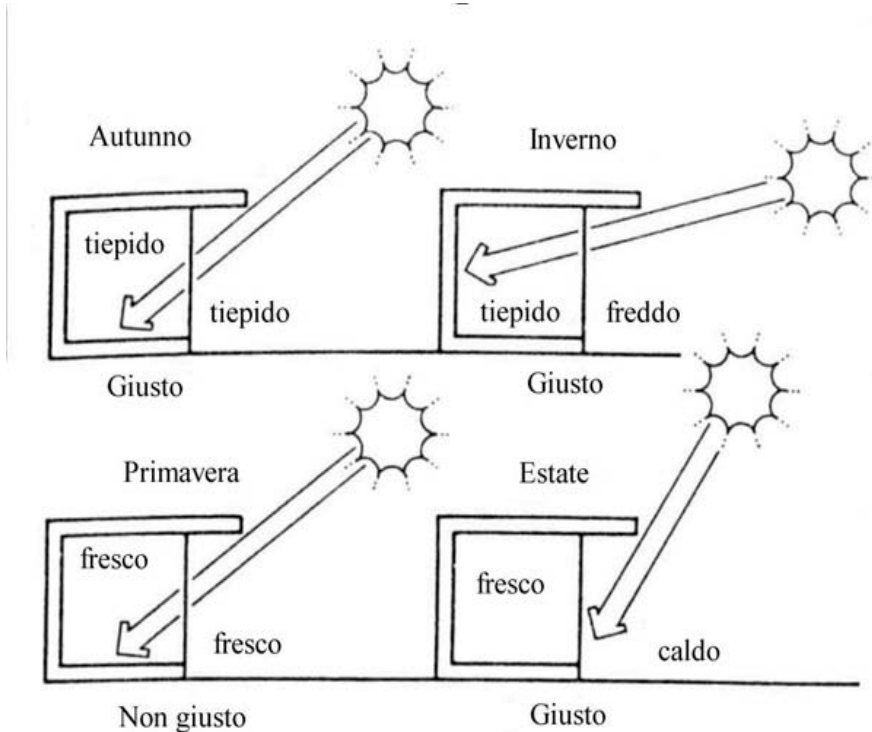


Figura 18 - Esempio di schermatura orizzontale fissa: in inverno, i raggi solari penetrano all'interno dell'ambiente, in primavera si perde buona parte del riscaldamento passivo, anche se l'esigenza di calore, in generale attenuata, può essere presente in alcune giornate fredde. In estate, i raggi sono bloccati.

Schermi mobili

Nella figura è mostrata una selezione di schermi mobili: tende, schermi veri e propri, persiane e scuretti. Gli schermi mobili dovrebbero essere progettati anche allo scopo di isolare di notte, durante la stagione del riscaldamento. L'efficienza degli schermi esterni, che dissipano all'aria l'energia solare assorbita, è del 30% superiore a quella degli schermi interni, anche se questi ultimi sono più economici e facili da manovrare manualmente.

Il controllo degli schermi può essere sia manuale sia meccanico: i controlli manuali sono realizzati tramite leve, aste, corde e catene, mentre i controlli meccanici fanno uso di energia elettrica e possono essere comandati manualmente o tramite sensore fotoelettrico. Un particolare sistema è costituito dallo

"skylid", nel quale un fluido di lavoro cambia la sua fase da liquida a vapore e la conseguente variazione di peso attiva un'azione meccanica.

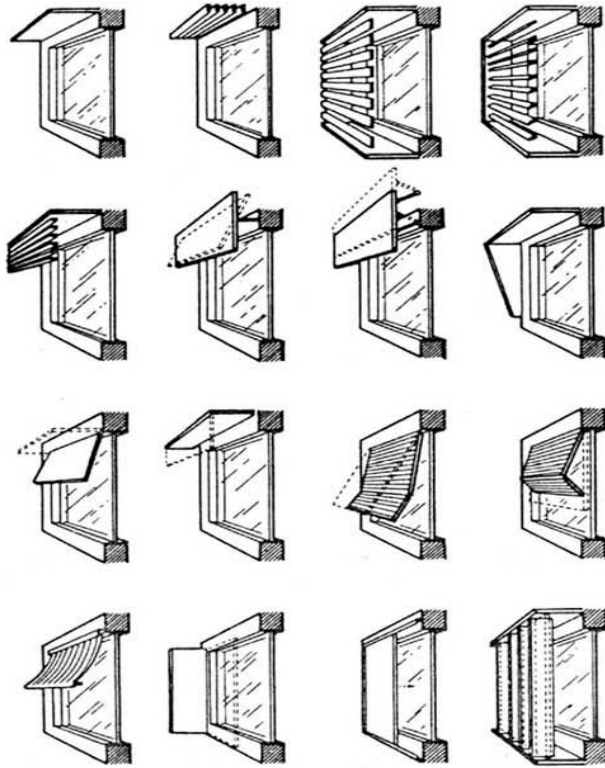


Figura 19 - Schermature esterne

I sistemi mobili tipo brise-soleil, nelle loro infinite varianti, riescono a garantire il controllo graduale del livello di illuminazione naturale, rifrazione e diffusione all'interno dell'edificio; tende, persiane, tapparelle, tende a banda, a veneziana e a lamelle, consentono una riduzione della luce fino al 90% secondo la disposizione, il materiale ed il colore.

Le schermature verticali, a parete o a doghe, sono efficaci quando la direzione dei raggi solari non è contenuta in un piano parallelo a quello dello schermo, e forma con esso un angolo di incidenza sufficientemente ampio da impedire la penetrazione dei raggi stessi.

Lo studio e la progettazione della posizione e dimensione di tali sistemi schermanti esigono pertanto considerazioni legate al percorso apparente del sole e relative al luogo di progetto.



Figura 20 - Brise soleil “semplici” e realizzati con moduli fotovoltaici (fonte www.xmetal.it e www.alcover.it)

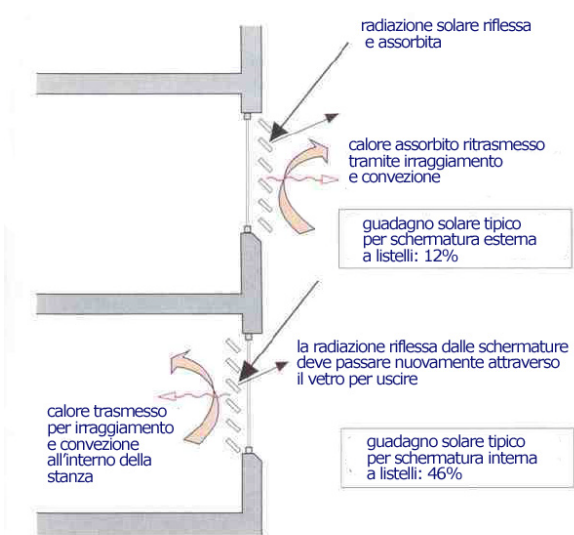


Figura 21 - Confronto tra schermo lamellare esterno e interno

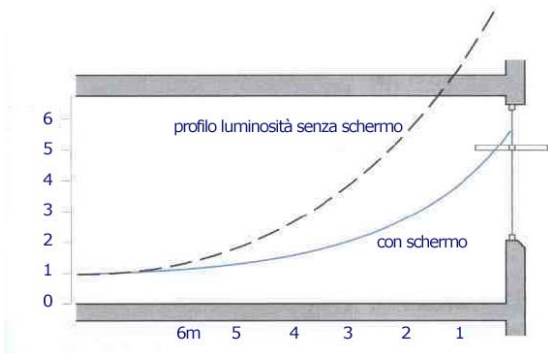


Figura 22 - Variazione del profilo di luminosità con e senza schermo fisso

Vegetazione

Una vegetazione stagionale può essere usata come schermo, ma ciò comporta comunque una riduzione permanente della radiazione solare incidente e, quindi, questo sistema dovrebbe essere evitato soprattutto in aree con limitata radiazione solare invernale.

La soluzione ottimale è rappresentata da vegetazione a foglia caduca, che garantisce ombreggiatura e microclima ottimale durante l'estate, e permette il passaggio dei raggi solari durante la stagione fredda.

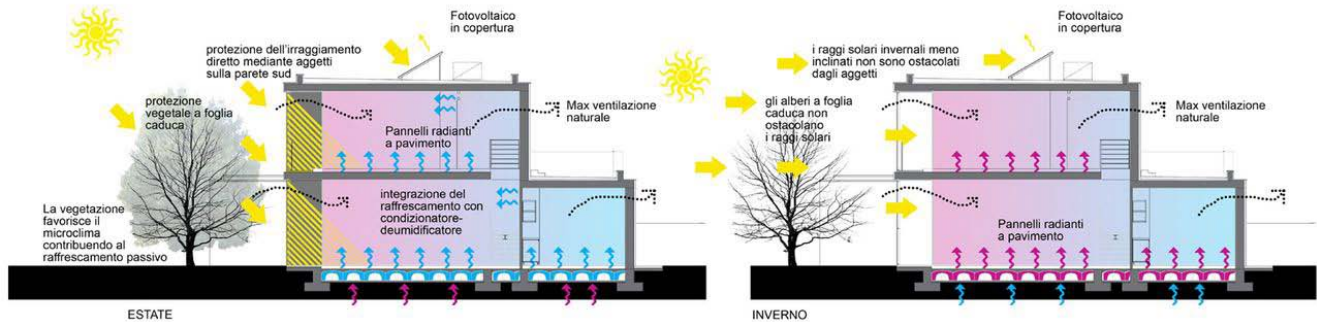


Figura 23 - Applicazione di vegetazione a foglia caduca: caso estivo e invernale

3.4 I sistemi opachi a guadagno indiretto: muro solare e muro Trombe

Il sistema a muro solare rappresenta una delle tecnologie maggiormente diffuse ed utilizzate nella progettazione green.

Per muro solare si intende una parete esterna composta da una superficie vetrata di captazione anteposta ad una parete accumulatrice. Tra la superficie vetrata captante ed il muro solare si forma un'intercapedine, all'interno della quale si genera un effetto serra che permette l'innalzamento della temperatura della parete in muratura, che in questo modo assorbe la radiazione solare captata dalla superficie vetrata. Una volta accumulato, il calore viene distribuito per irraggiamento nello spazio interno.

La distribuzione dei flussi termici può essere agevolata, nonché incrementata, da moti convettivi innescati da apposite aperture, collocate nelle zone inferiori e superiori del muro, che collegano l'intercapedine compresa tra la vetrata ed il muro con l'ambiente interno (principio della termocircolazione).

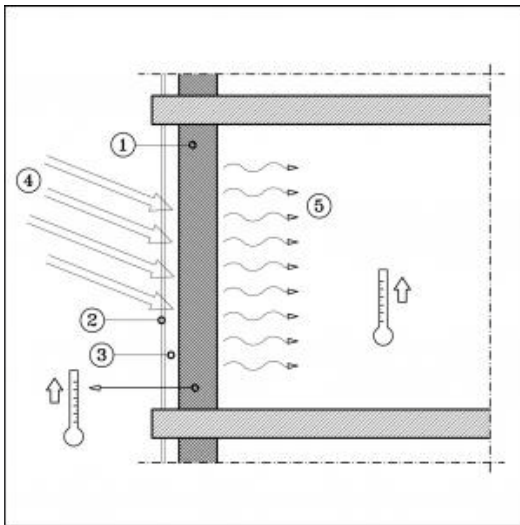


Figura 24 - Schematizzazione dei principi di funzionamento naturali e degli elementi costitutivi del sistema di guadagno solare indiretto a “muro solare”. 1. Muro solare (massa di accumulo termico) 2. Superficie vetrata di captazione 3. Spazio intercapedine (cm 5-10) 4. Radiazione solare incidente 5. Flusso termico re-irraggiato.

E' possibile individuare due fondamentali sottosistemi del muro solare, in funzione della configurazione della parete di accumulo.

Si avranno pertanto due fondamentali configurazioni del sistema:

a. Sistemi a muro solare pieno

In questi sistemi, la trasmissione del calore allo spazio abitato avviene per irraggiamento dalla superficie interna del muro, più una piccola percentuale trasmessa per convezione dai flussi d'aria che lambiscono la parete.

L'efficienza del sistema dipende dallo spessore del muro accumulatore, dal materiale che lo costituisce, e dal colore della sua superficie. In particolare, essa aumenta in funzione del materiale costitutivo del muro: maggiore è la sua conduttività, maggiore risulta la quantità di calore trasmessa attraverso la parete.

b. Sistemi a “muro di Trombe”

Nei sistemi a “muro di Trombe” sono previste aperture nella parte superiore ed inferiore del muro, che mettono in collegamento lo spazio abitato con l'intercapedine posta tra superficie di captazione e muro.

Le feritoie, che possono essere controllate manualmente o automatizzate, consentono l'innescio di moti convettivi, che, nella configurazione “inverno-giorno”, sono caratterizzati da flussi d'aria ascensionali che entrano all'interno dell'ambiente dall'alto, mentre l'aria più fredda presente nello spazio abitato viene richiamata verso l'intercapedine dal basso, riscaldata e reintrodotta.

Durante il periodo notturno possono essere inseriti “registri mobili”, per impedire la “termocircolazione inversa”, causa di dispersioni termiche, ed ottimizzare l'efficacia del sistema.

L'efficacia di un sistema a “muro di Trombe”, rispetto quello con muro solare pieno, è maggiore circa del 10%, purché venga prevista la presenza dei registri mobili.

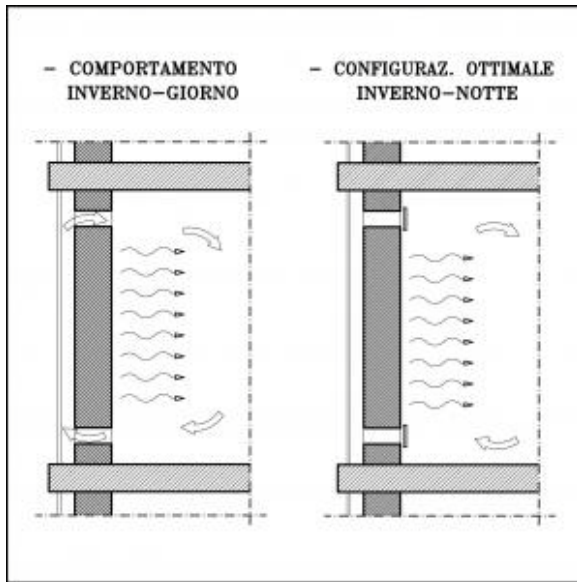


Figura 25 - Schematizzazione dei principi di funzionamento naturali e degli elementi costitutivi del sistema di guadagno solare indiretto a “muro di Trombe”.

Configurazioni durante il periodo estivo

Nei sistemi a muro di Trombe, possono essere previste aperture nelle superfici vetrate, così da permettere la dispersione convettiva dell'energia termica, dal muro verso l'esterno, durante il giorno.

Nella configurazione “estate-notte” è utile, al contrario che nel caso invernale, consentire la “termocircolazione inversa”: l'aria nello spazio tra vetrata e muro si raffredda e, diventando più pesante, tende a scendere ed entrare negli ambienti dalle aperture in basso; contemporaneamente, l'aria calda presente nello spazio abitato viene richiamata all'esterno tramite le aperture superiori.

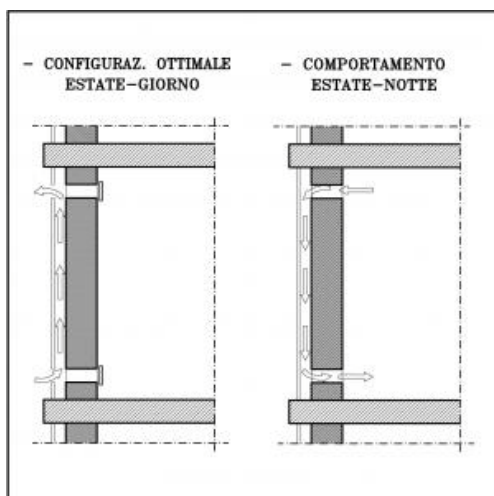


Figura 26 - Schematizzazione del funzionamento del “muro di Trombe” durante il periodo estivo.

4 Illuminazione naturale

Per quanto detto finora, la finestra è un varco, nell'involucro più o meno isolato di un edificio, che permette la fuoriuscita del calore, ma contemporaneamente l'ingresso della luce naturale. Qualitativamente, un buon uso del “daylighting” influisce notevolmente sulla gradevolezza dell'ambiente, rendendolo più o meno apprezzato dall'utente finale. Scopo del progettista deve essere quindi ottimizzare il contributo in termini di illuminazione, in funzione del contenimento della spesa relativa al riscaldamento. Non potendo aumentare eccessivamente la superficie vetrata, si può però intervenire su altri fattori che contribuiscono ad ottenere una buona qualità luminosa nell'ambiente, e che sono: proporzioni e posizione della finestra, sezione trasversale dell'apertura della finestra, trattamento delle superfici, protezione dagli abbagliamenti.

Presa una stanza di riferimento, si può analizzare come tutti questi parametri influiscano sulla qualità della luce.

La stanza presa come “tipo” misura 3x5x2,7 m, con una superficie vetrata di 3 m². Si tratta di una situazione abbastanza comune, nella quale il rapporto finestra/pavimento è di circa il 20% mentre la superficie della finestra è circa il 40% rispetto a quella della facciata esterna. La trasmittanza τ dei vetri è del 62%.

Per quanto riguarda l'assorbimento della luce da parte delle superfici interne, si ha: $\alpha = 70\%$ per il pavimento, $\alpha = 40\%$ per le pareti, $\alpha = 30\%$ per il soffitto.

L'apertura della finestra è profonda 40 cm, uno spessore comune per costruzioni ad alto isolamento.

Le considerazioni vengono fatte a mezzogiorno, orario nel quale si ottengono maggiori variazioni di penetrazione luminosa nella stanza, in una giornata tipica stagionale (ad esempio, non si prende come riferimento per l'inverno una giornata di marzo). Il cielo viene ipotizzato coperto.

Oltre alle considerazioni già fatte, è fondamentale notare come la dimensione della finestra sia molto significativa dal punto di vista estetico, ma non porti necessariamente ad un aumento proporzionale della luminosità. Quest'ultima, infatti, varia in dipendenza della latitudine a cui ci si riferisce; nel caso di latitudine mediana, si ha un aumento progressivo di luminosità fino al rapporto finestra/facciata del 50%, percentuale oltre la quale la curva assume una pendenza minore, con apporto luminoso

decisamente meno significativo. Con latitudini più a nord, l'aumento è ancora meno marcato, al contrario di quanto avviene spostandosi a sud, dove l'incremento sussiste anche al superamento del 50%.

L'aumento del rapporto finestra- facciata oltre al 50% non solo determina un aumento assoluto della quantità di luce in entrata, ma riduce il contrasto e il conseguente abbagliamento.

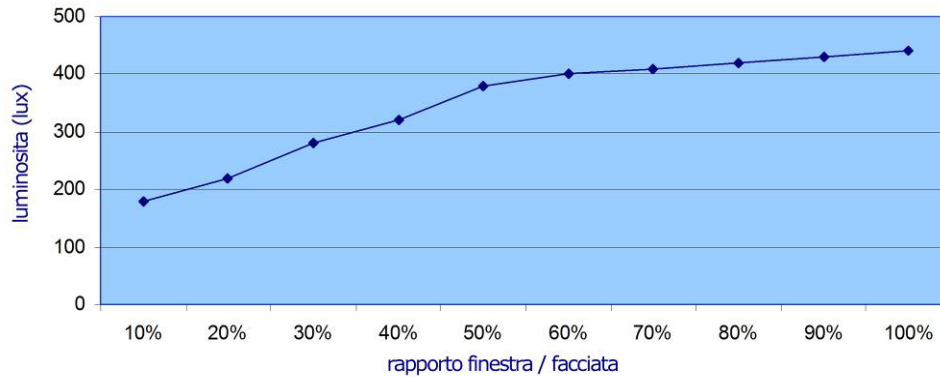


Figura 27 - Andamento della luminosità in funzione del rapporto finestra/facciata

Mantenendo la superficie totale pari a 3 m^2 , si può visualizzare l'andamento della luminosità in vari casi, considerando diverse forme e proporzioni.

Porta finestra

Questo tipo di finestra offre un ottimo angolo di visuale dall'interno verso l'esterno. In particolare si rivela una soluzione ottimale nel caso di zone climatiche con alta frequenza di cielo coperto: la luminosità allo zenith è decisamente maggiore rispetto all'orizzonte, e in questo modo si riesce a captare una maggiore quantità di radiazione luminosa, che riesce a penetrare maggiormente nella stanza.

Finestra orizzontale

Questa configurazione permette una buona penetrazione della luce nel caso in cui la finestra si trovi sulla facciata esposta a est o ovest, direzioni nelle quali il sole raggiunge angoli non troppo grandi. Si tratta di una soluzione valida per ambienti lavorativi, con l'accortezza di mantenere bassa la finestra per permettere una buona visibilità verso l'esterno a chi è seduto alla scrivania.

Combinazione di finestra alta e finestra bassa

La funzione della finestra orizzontale, collocata in alto, è di captare la maggior radiazione solare possibile, mentre la finestra verticale, stretta e lunga, permette la visibilità verso l'esterno. Il risultato non è però ottimale, a causa dell'angolo in ombra e della visione comunque limitata dell'ambiente esterno.

Finestra d'angolo

Il posizionamento della finestra nell'angolo produce una ottima illuminazione nell'area immediatamente circostante, lasciando però in ombra l'angolo opposto.

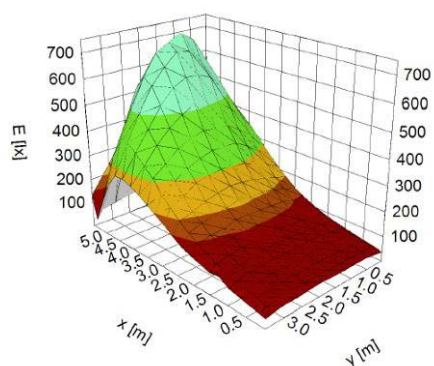
Finestre su due pareti

La combinazione di due finestre permette di ottenere una migliore diffusione della luce all'interno della stanza.

L'accortezza progettuale consiste nell'adozione di finestre con cornici sottili, per limitare al massimo le perdite di calore che attraverso di esse si manifestano, a causa dei valori più bassi di U rispetto ai vetri.

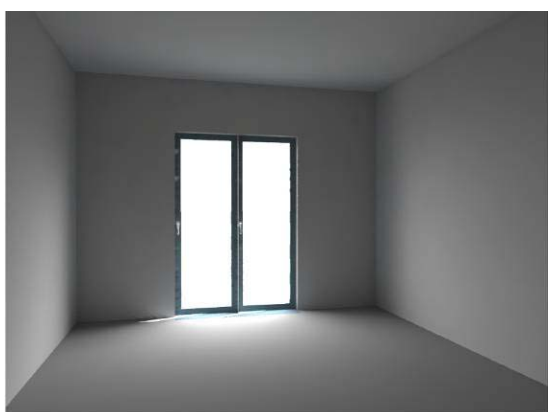


a)

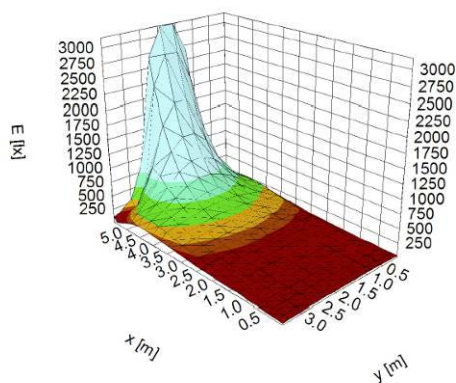


b)

Figura 28 - Finestra “classica”; a) aspetto della finestra b) andamento della luminosità

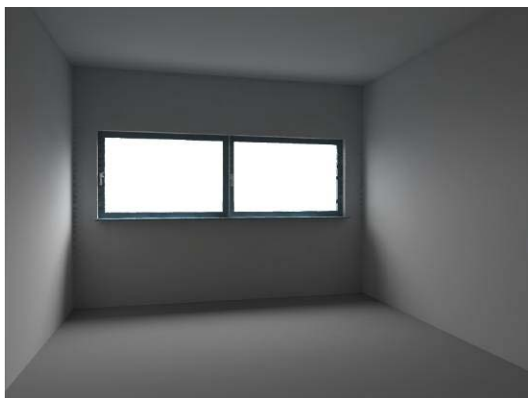


a)

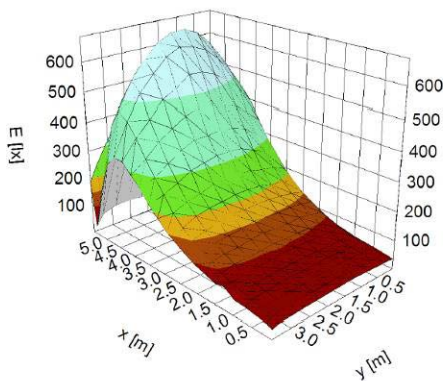


b)

Figura 29 - Portafinestra; a) aspetto della finestra b) andamento della luminosità



a)

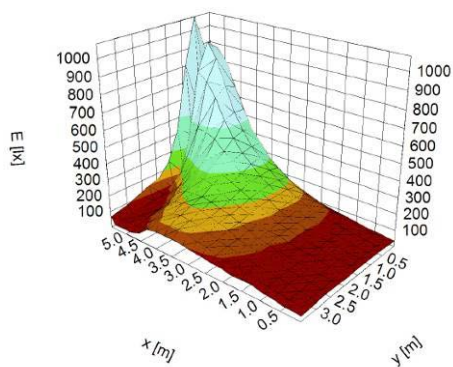


b)

Figura 30 - Finestra orizzontale a tutta larghezza; a) aspetto della finestra b) andamento della luminosità

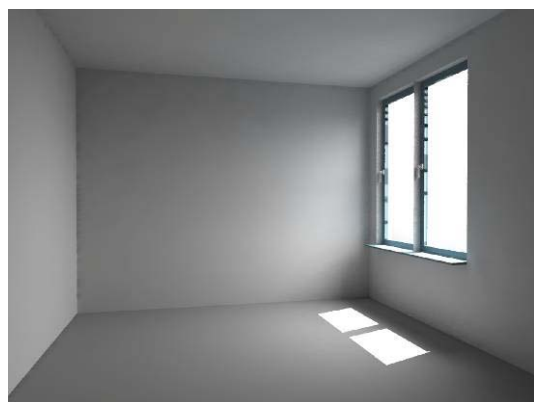


a)

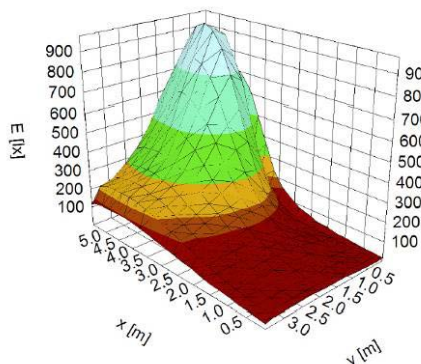


b)

Figura 31 - Combinazione di finestra alta orizzontale e finestra verticale; a) aspetto della finestra b) andamento della luminosità



a)

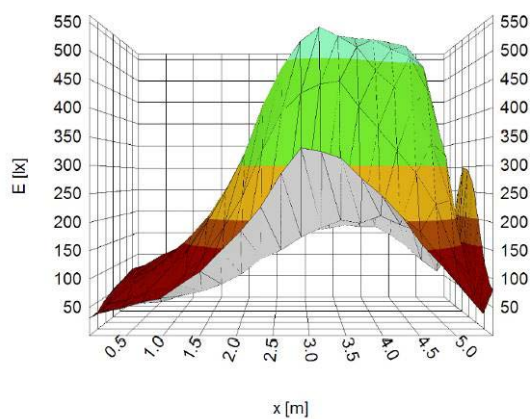


b)

Figura 32 - Finestra d'angolo; a) aspetto della finestra b) andamento della luminosità



a)



b)

Figura 33 - Finestre su due pareti; a) aspetto della finestra b) andamento della luminosità

Superfici

La luminosità della stanza dipende, in forte misura, dalle superfici che la caratterizzano, cioè dalla quantità di luce che esse assorbono. Nella figura, si può vedere la variazione di luminosità dell'ambiente in relazione all'assorbanza delle superfici (pareti, pavimento, soffitto).

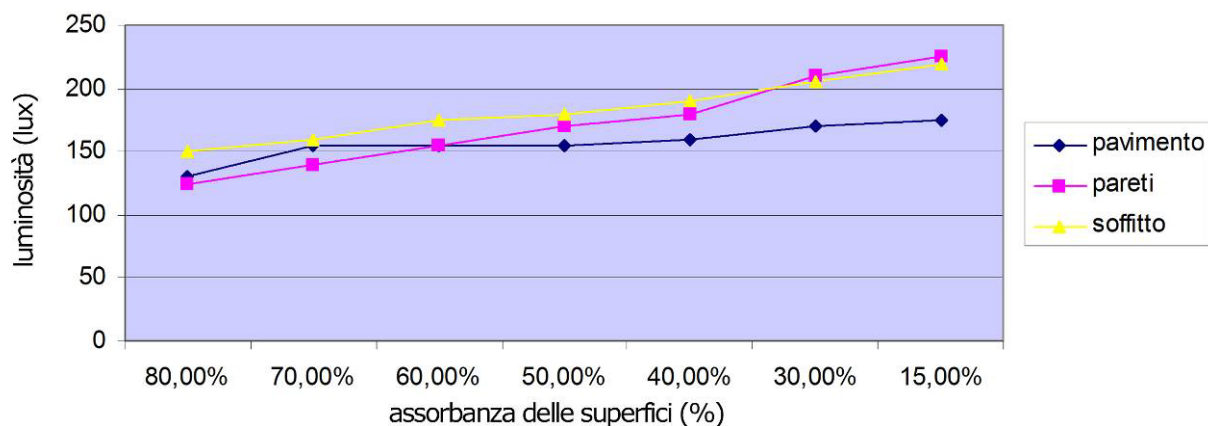


Figura 34 -Variazione della luminosità in funzione dell'assorbanza delle superfici. Alle superfici scure corrisponde un'assorbanza dell'80%, e a quelle bianche il 15%.

Notevole importanza ha anche il telaio, che influisce notevolmente sulla radiazione trasmessa all'interno degli ambienti.

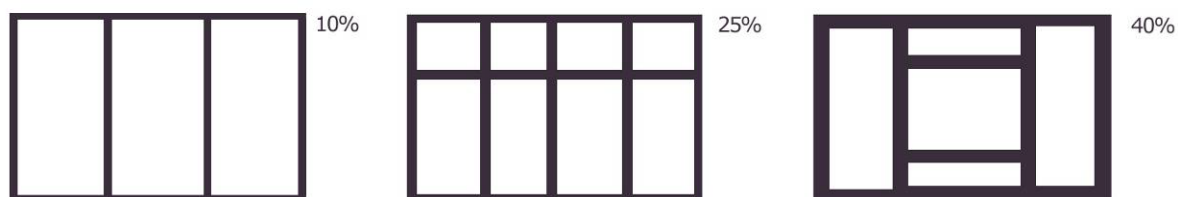


Figura 35 - Perdita di luminosità in base al tipo di telaio

4.1 Trasportare la luce: i condotti di illuminazione

Quando non risulta possibile un efficace sfruttamento dell'illuminazione naturale tramite le classiche finestrate, si può ricorrere a sistemi di captazione e indirizzamento dei raggi solari.

Si tratta di veri e propri “imbuto di luce”, realizzati in modo tale da permettere diversi tipi di installazione, soprattutto nel caso in cui si vogliano illuminare parti dell'edificio non raggiungibili in modo semplice dalla radiazione solare.

Il sistema è composto da una cupola trasparente esterna, resistente agli urti e protetta contro i raggi UV, e sagomata in modo da captare e reindirizzare i raggi solari, anche nel caso provengano da nord e/o siano bassi sull'orizzonte. Tali raggi vengono convogliati nel condotto cilindrico di trasferimento, caratterizzato da superfici interne super riflettenti, che, facendo rimbalzare i raggi, li guidano fino al diffusore translucido all'interno dell'ambiente da illuminare. Tale diffusore ha l'apparenza di una comune lampada a incasso per controsoffittature, così da garantire non solo un buon risultato funzionale, ma anche estetico.

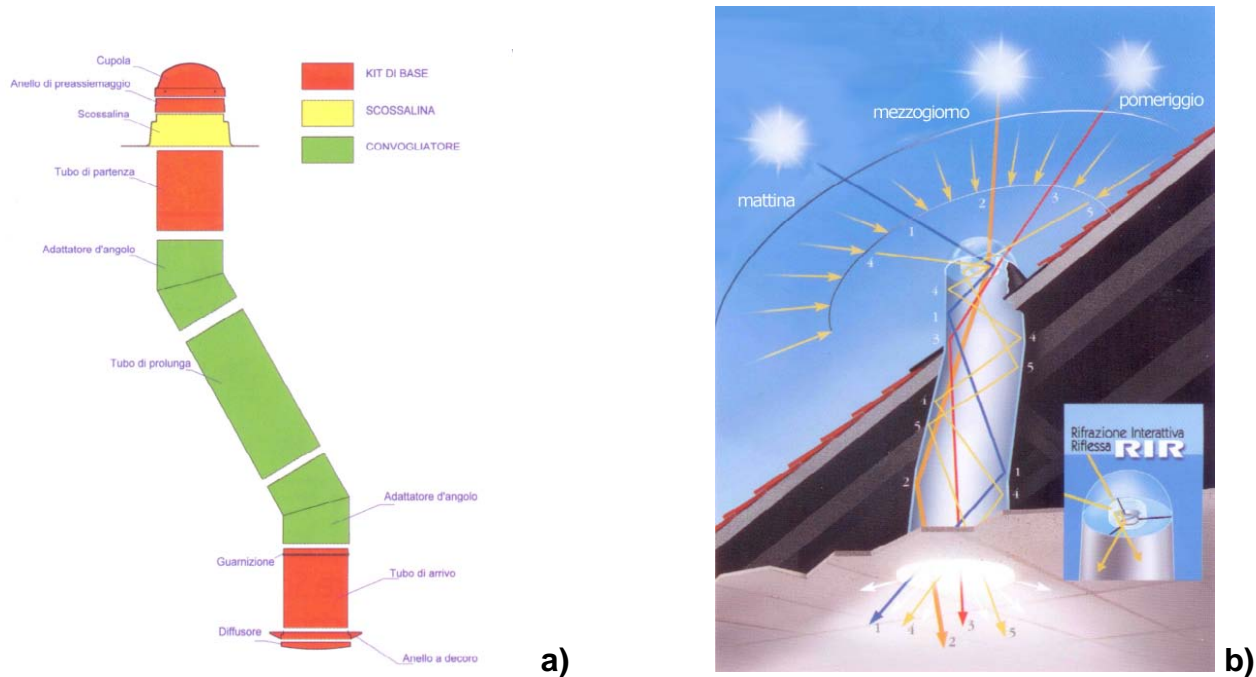


Figura 36 - Composizione di un tubo luminoso a) componenti; b) trasmissione della radiazione solare in diverse ore del giorno (fonte: SolarSpot®)



Figura 37 - Cupola esterna; disposizione interna in ambito residenziale e su capannone industriale (fonte: SolarSpot®)

5 La ventilazione naturale

Build tight and ventilate right

Gli spostamenti di aria tra due zone avvengono, per principio fisico, per differenza di pressione. Tale principio è stato sfruttato in tempi antichi per garantire il comfort ambientale all'interno degli edifici, e può essere a maggior ragione sfruttato oggi, in sostituzione delle tecniche adottate negli ultimi 50 anni per la climatizzazione degli ambienti, che prevedevano uno spostamento artificiale dell'aria.

Attualmente, nell'ambito della rivalutazione di criteri ecosostenibili di progettazione, la ventilazione naturale ritorna ad essere considerata un valido apporto nella costruzione di un involucro edilizio efficiente. Si aggiunga inoltre che, con la presenza di fonti di calore in ogni punto dell'ambiente costruito (illuminazione, dispositivi elettronici, etc), si sente sempre più la necessità di garantire un buon comfort all'interno degli edifici, tanto più che, con i soli sistemi di ventilazione meccanica, dei quali fanno parte i comuni condizionatori, si incorre sempre più spesso nella “sindrome da disagio ambientale” (malattie dell'apparato respiratorio, allergie...) e le persone tendono a preferire sempre di più una ventilazione naturale a sistemi di aria condizionata.

Rinnovare l'aria influisce, inoltre, sulla concentrazione di inquinanti (come l'anidride carbonica che il nostro stesso organismo produce tramite la respirazione) presente nelle stanze, e contribuisce quindi all'ottenimento di un'aria più “salubre”.

Esistono diverse configurazioni per i sistemi di ventilazione naturale. Essi sono ottenibili in fase di costruzione ex novo dell'edificio ed anche in occasione di retrofit.

5.1 Ventilazione incrociata (o cross ventilation)

La ventilazione incrociata si ottiene con il posizionamento di due aperture su due pareti contrapposte. Grazie all'esposizione opposta rispetto a sole e venti, si ha una differenza di temperatura tra le due facciate, che può generare una corretta ventilazione se le dimensioni delle aperture sono ben calibrate.

Nella figura si può visualizzare l'effetto derivante da 4 diverse configurazioni

Configurazione A: la presenza di una sola apertura, senza una seconda in contrapposizione, non permette di ottenere ventilazione all'interno dell'ambiente;

Configurazione B: aperture di dimensione uguale garantiscono una ventilazione ottimale

Configurazione C: se l'apertura di ingresso è più piccola di quella d'uscita, non si crea ventilazione, ma piuttosto correnti d'aria che possono risultare fastidiose

Configurazione D: con un'apertura ampia in ingresso e una di dimensioni minori in uscita si ottiene comunque un buon ricircolo di aria.

Il posizionamento delle finestre presuppone la conoscenza – anche di massima – della direzione dei venti nella zona circostante l'edificio.

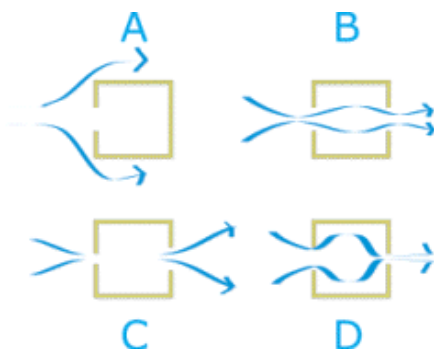


Figura 38 - Ventilazione incrociata

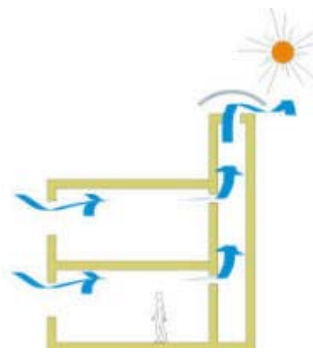


Figura 39 - Camino solare

5.2 Camino solare

Come noto, la stratificazione dell'aria all'interno degli ambienti avviene in dipendenza della temperatura: l'aria calda, a causa della sua minore densità, tende a salire verso l'alto.

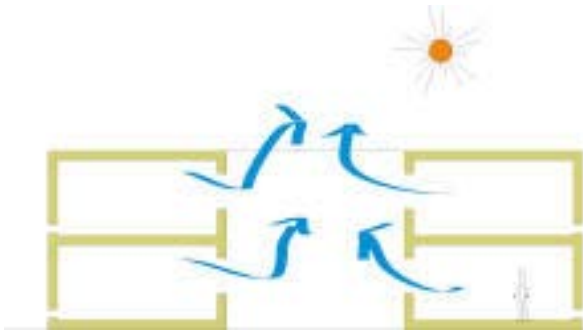
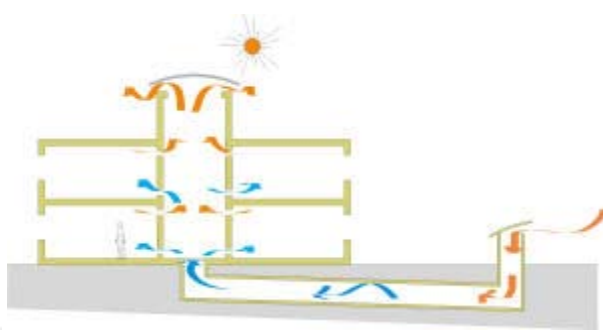
Sfruttando questo fenomeno, possono essere create delle aperture nella parte superiore delle pareti, affacciate su un condotto verticale tipo camino, in modo da permettere la fuoriuscita dell'aria calda e l'ingresso contemporaneo di aria fresca dall'esterno, tramite aperture posizionate sulla parete opposta. Il posizionamento di queste ultime non deve essere troppo alto, in modo da garantire l'ingresso di aria più fresca possibile.

L'apertura superiore del condotto verticale potrà essere dotata di un cupolino metallico apri-chiudi che d'estate, riscaldandosi, faciliterà l'innescò del moto d'aria (configurazione aperta), e d'inverno, chiuso, non permetterà l'ingresso di aria fredda all'interno degli ambienti (la situazione della temperatura, infatti, si inverte tra estate e inverno, e conseguentemente si invertono i moti d'aria).

5.3 Atri aspiranti

Ulteriore soluzione è quella della configurazione con atrio centrale tra gli edifici, che può rivelarsi molto utile per il raffrescamento. La predisposizione di aperture sull'atrio crea un fenomeno di "risucchio", che sposta l'aria calda verso l'alto, quindi all'interno dell'atrio. Questa soluzione può essere vista come naturale estensione della configurazione a camino solare, che in questo caso viene sostituito dallo spazio che si viene a creare tra gli edifici stessi. Per garantire la circolazione dell'aria possono essere predisposte aperture sulle pareti opposte a quelle affacciate sull'atrio, solitamente di dimensioni piccole.

Per avere un'idea di questo tipo di configurazione, basti pensare ai condomini realizzati tra la fine dell'ottocento e l'inizio del novecento, nei quali veniva prevista la cosiddetta "chiostrina". Le aperture sulla chiostrina fornivano un apporto in termini di luminosità e ventilazione.

**Figura 39** - Atrio aspirante**Figura 40** -Torre di ventilazione

5.4 Torri di ventilazione

Il funzionamento della torre di ventilazione è molto simile a quello dell'atrio aspirante. Il sistema prevede una torre centrale, sulla quale si affacciano le abitazioni, e un piccolo torrino esterno collegato con la torre centrale tramite condotto sotterraneo.

Quest'ultimo rappresenta il cuore del sistema: l'aria risucchiata nel torrino esterno viene fatta passare attraverso il canale sotterraneo e in questo modo di raffresca, sfruttando la temperatura del terreno, che durante l'anno rimane costantemente intorno ai 18°C. Dopo il passaggio sotterraneo, l'aria risale all'interno della torre di ventilazione e da qui distribuita agli ambienti ad essa prospicienti. Questa aria viene immessa nella torre di ventilazione e distribuita negli ambienti ad essa prospicienti, tramite due aperture, inferiore e superiore, che costituiscono, rispettivamente, la presa e la mandata del sistema. La presenza di un'ulteriore apertura sulla parete opposta può essere utile ai fini della ventilazione.

La possibilità di sfruttare la temperatura del terreno rende questo sistema molto utile anche d'inverno, stagione nella quale può contribuire al riscaldamento degli ambienti.

5.5 Torri del vento

Antica soluzione costruttiva, adottata in zone mediorientali, la torre del vento è ottimale in zone con forte presenza di venti e brezze estive, e nelle quali non possono essere previste aperture molto ampie a causa delle alte temperature esterne.

La configurazione del sistema è la seguente: la torre, con un'altezza superiore a quella dell'edificio, viene posizionata in direzione dei venti estivi prevalenti, che in questo modo vengono convogliati al

suo interno. La corrente che si genera viene a sua volta incanalata negli ambienti interni tramite aperture ricavate nella parte inferiore delle pareti che affacciano sulla torre. Sulla parete opposta, sono posizionate piccole aperture nella zona superiore, in modo da far fuoriscire l'aria calda.

Questi captatori, se realizzati in muratura, quindi con grosse masse, hanno un ottimo funzionamento anche in assenza di vento. Le torri se staccate dall'edificio possono essere collegate con dei canali sotterranei che aumentano l'efficienza. Questo sistema può essere ampliato con l'inserimento negli ambienti comuni di specchi d'acqua e/o fontane che aumentano l'efficienza.

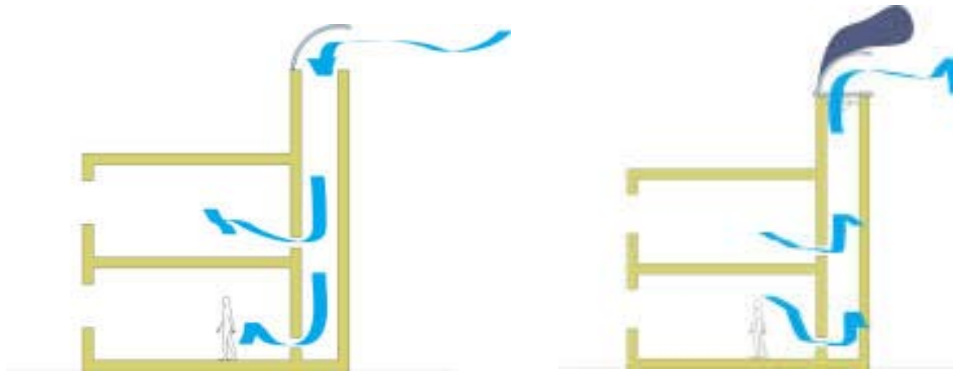


Figura 41 - Torre del vento

Figura 42 - Camino eolico

5.6 Camini eolici

Hanno un funzionamento simile al camino solare, ma sfruttano la presenza di vento nella zona circostante. Il cupolino viene realizzato anche in questo caso in materiale metallico, perché, riscaldandosi aumenta la quantità di aria alla sommità del condotto e quindi l'effetto di estrazione dell'aria. Per consentire l'isolamento durante la stagione invernale, viene prevista la possibilità di chiusura tramite lamelle coibentate.

5.7 Sistemi di nebulizzazione

Utilizzando apparecchi di nebulizzazione si creano effetti di raffrescamento molto interessanti. Le piccolissime particelle di acqua, immesse in ambiente, evaporano molto velocemente, raffreddando l'aria. L'aria resa più pesante dalle particelle d'acqua tende a precipitare, permettendo un movimento

discendente che genera un moto convettivo. L'acqua ha un ruolo molto importante non solo dal punto di vista sensoriale ed emotivo, ma anche migliorativo della qualità dell'aria. Spazi comuni come atri e cortili, con la presenza di vasche d'acqua oppure fontane e giochi d'acqua, migliorano sensibilmente l'aria in ingresso. Questa aria poi può essere utilizzata per raffrescare gli ambienti confinanti con il cortile.

6 La ventilazione per l'isolamento

6.1 Le pareti ventilate

I moti convettivi dell'aria possono garantire il comfort termico degli ambienti non solo tramite ricircolo, ma anche se sfruttati per l'isolamento dell'involucro.

La facciata ventilata rappresenta una soluzione in linea con i dettami di legge vigenti (D. Lgs 10/91 in materia di risparmio energetico) e trova facile applicazione nell'edilizia moderna, non solo in occasione di costruzioni ex novo, ma anche in sede di retrofit.

La *parete perimetrale* (5) dell'edificio, detta superficie di tamponamento, costituisce la base da cui partire per costruire la parete ventilata. La sua composizione è da considerarsi importante per l'applicazione degli strati successivi, poiché possono incidere i coefficienti di deformazione dei diversi materiali con cui è costruita. E' necessario inoltre che la parete sia perfettamente piana e senza sconnessioni, e tal fine si può prevedere l'applicazione di 1-2 cm di intonaco che permette di livellare la superficie.

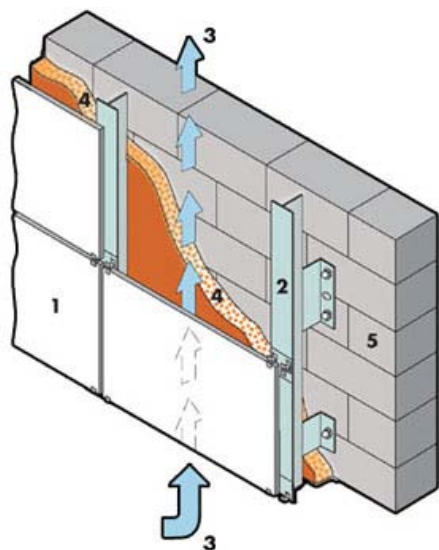


Figura 43 - Sezione di una parete ventilata

Lo strato successivo della parete ventilata è costituito dal *materiale isolante* (4), che, secondo la tecnica del rivestimento a cappotto, viene applicato esternamente alla superficie di tamponamento per evitare la possibilità di ponti termici (vedi box).

Solitamente, vengono utilizzati pannelli di spessore variabile tra 3 e 8 cm, applicabili al muro tramite sistemi di fissaggio chimici o meccanici, a seconda del tipo di muro sottostante. Gli elementi di fissaggio meccanici (2), come - ad esempio - i tasselli ad espansione, vengono preferiti qualora si intervenga su muri antichi o su superfici impossibili da regolarizzare con strati di intonaco.

Procedendo verso l'esterno, si ha l'*intercapedine* (3) tra parete isolata e tamponamento esterno, con spessore di circa 4 cm. In fase di progettazione, è necessario garantire una corretta circolazione dell'aria: non devono essere presenti ostacoli e/o strozzature, che possono essere causate anche dal sistema di ancoraggio stesso, e solitamente si prevedono griglie di ventilazione, alla base e alla sommità del fabbricato, che evitano l'accesso a materiali o animali che possono ostacolare il funzionamento del sistema. L'intercapedine è fondamentale anche per l'evaporazione dell'umidità che si forma in fase di cantiere.

Il *paramento esterno* (1), che svolge anche la funzione di finitura della costruzione, viene applicato in lastre di grande formato di materiale metallico o ceramico, oppure pietra, legno, fibrocemento ecologico – variante del fibrocemento usato fino a qualche decina di anni fa (amianto + cemento, più conosciuto come eternit) e realizzato in cemento + PVA (polivinilalcol) - o laminato ad alta pressione (HPL). La caratteristica richiesta a tutti i materiali è di coniugare il risultato estetico con quello

funzionale, garantendo resistenza agli eventi atmosferici, bassi livelli di abrasione e assorbimento, e l'inalterabilità del colore.

Un accorgimento atto a mantenere l'elasticità della struttura, è l'uso di lastre singole per comporre il rivestimento: in questo modo si garantisce una buona autonomia alla struttura esterna, che, non aderendo al tamponamento interno, è libera di muoversi secondo il suo coefficiente di dilatazione, anche grazie all'elasticità degli ancoraggi. I movimenti elastici vengono garantiti dai giunti, cioè gli spazi di separazione tra le lastre, che possono essere aperti o chiusi. I giunti chiusi permettono distanziamenti di 2-3 mm al massimo tra le lastre, sia in orizzontale sia in verticale,, e sono consigliati per rivestimenti di altezza ed estensione limitata, in quanto i movimenti della struttura, i cedimenti elastici dei fissaggi e le deformazioni termiche potrebbero arrecare gravi danni alle lastre e alle staffe di ancoraggio. Per rivestire superfici ampie conviene sempre utilizzare la tecnica dei giunti aperti, che lasciano 6-7 mm di distanza fra le lastre. In questo modo tutti i movimenti dell'edificio e dei materiali che lo compongono possono essere assorbiti senza problemi.

I **ponti termici** sono punti deboli dell'involucro dell'edificio, i quali presentano un valore di conduttività maggiore rispetto agli elementi costruttivi adiacenti. In queste zone si può verificare la condensazione di umidità proveniente dall'aria del locale con formazione di condense interne, macchie, muffe ed il conseguente deterioramento delle parti costruttive.

Le perdite di calore attraverso i ponti termici possono raggiungere e superare il 20% delle dispersioni totali.

Il sistema parete ventilata, grazie alla posa dell'isolante dall'esterno senza soluzione di continuità permette una facile e vantaggiosa riduzione del problema dei ponti termici.

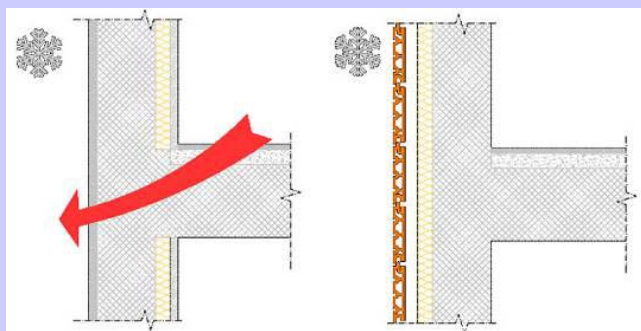


Fig. 44: Ponte termico. Caso A: senza parete ventilata. L'isolante, posto all'interno della struttura, lascia scoperti dei punti "sensibili", dai quali si può avere fuoriuscita di calore. **Caso B: con parete ventilata.** L'isolamento a cappotto, posto all'esterno dell'involucro, garantisce un isolamento continuo e protegge da fuoriuscite di calore.

Funzionamento della parete ventilata

Il funzionamento della parete ventilata deve essere studiato in relazione alle condizioni al contorno: le condizioni ambientali in cui è posto l'edificio, la sua altezza, la morfologia dell'edificio stesso.

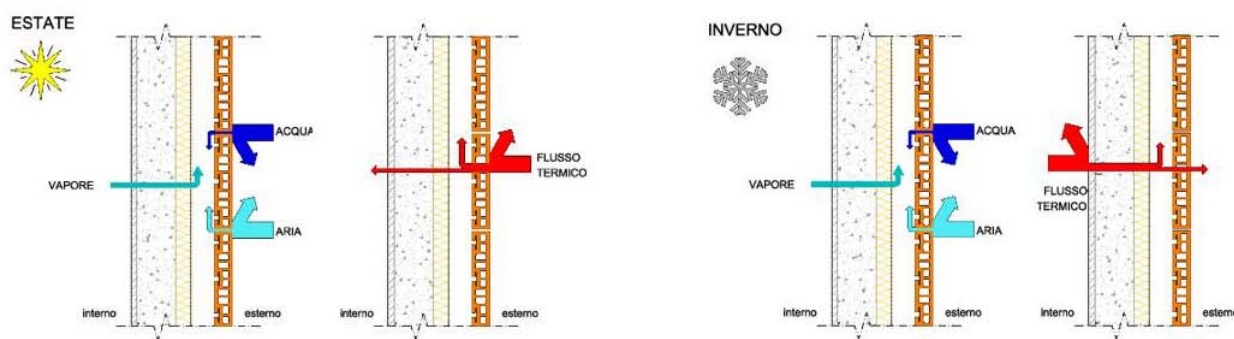


Figura 45 - Funzionamento parete ventilata, caso estivo e invernale

Caso estivo: la parete ventilata protegge l'involucro dall'acqua e dall'aria, mantenendo una buona temperatura interna. Contemporaneamente, il vapore presente negli ambienti è libero di fuoriuscire e viene eliminato grazie al moto convettivo all'interno dell'intercapedine. In estate, la parete ventilata costituisce, inoltre, un ottimo schermo alla radiazione solare: il calore accumulato sulla superficie non viene trasmesso agli strati sottostanti, ma dissipato grazie all'effetto camino.

Caso invernale: l'isolamento a cappotto mantiene il calore all'interno degli ambienti, mentre l'involucro esterno fornisce protezione nei riguardi di pioggia e aria fredda. Contemporaneamente, il vapore è libero di fuoriuscire. La presenza della camera d'aria, infatti, permette al vapor acqueo, a causa delle differenze di pressione fra l'interno e l'esterno, ed in presenza di strati permeabili al vapore, di passare attraverso la parete ed essere eliminato grazie al moto convettivo che si instaura nella camera d'aria. L'effetto camino permette, poi, l'evaporazione dell'acqua di costruzione dei materiali assemblati a "umido".

Come già detto, la facciata ventilata presuppone una coibentazione a cappotto dell'involucro, operazione che può essere effettuata anche successivamente alla costruzione, peraltro in tempi rapidi, e con la possibilità di ricoprire ogni zona, pilastri e solette compresi. Si crea, in questo modo, un

isolamento uniforme che permette di ridurre al massimo il fenomeno dei già nominati ponti termici, provocato dalle diverse temperature dei materiali appartenenti allo stesso sistema edilizio, che sono causa di umidità e degrado della muratura. Anche i movimenti strutturali causati da variazioni di temperatura esterna subiscono un netto ridimensionamento, a vantaggio della stabilità della struttura.

Metodi di ancoraggio

Le strutture di aggancio delle pareti ventilate possono essere divise in varie tipologie.

In primis, si possono suddividere in strutture visibili ed invisibili. Le prime, sono caratterizzate da clips che ancorano le lastre esterne alla struttura portante, e rimangono visibili dall'esterno. Le clips sono applicate sui montanti verticali, che sono fissati a loro volta al paramento interno. Per evitare movimenti delle lastre sul profilo verticale, gli agganci a clip sono dotati di guarnizioni.

Qualora si desideri un risultato estetico più gradevole, può essere realizzato un ancoraggio invisibile tramite tasselli meccanici o chimici, collegati al retro dei pannelli e alla struttura metallica di sostegno.

6.2 Ventilazione e isolamento del tetto

Tetti e coperture rappresentano un punto critico per l'isolamento delle strutture, e si può ricorrere anche in questo caso a tecniche analoghe alle pareti ventilate, in modo da scongiurare non solo le perdite di calore, ma anche il ristagno di vapore acqueo.

La caratteristica fondamentale del tetto ventilato è la presenza di una lama d'aria tra il manto di copertura, realizzato in tegole, e l'isolamento sottostante. La sua funzione è diminuire l'accumulo di calore tra tegole e strato sottostante, eliminare eventuale condensa, e isolare maggiormente dal freddo durante la stagione fredda. Il principio di base è sempre l'effetto camino, già visto per pareti ventilate e ventilazione generale. La realizzazione prevede il posizionamento delle tegole su un sistema di listelli (singoli o doppi), che crea l'intercapedine di aria tra copertura e strato isolante, che deve avere una buona resistenza, per sostenere il peso di tegole e listelli più eventuali sovraccarichi, come la neve. In alternativa, possono essere utilizzati pannelli di sughero ad alta densità e incompressibilità, sui quali

vengono fissate direttamente le tegole a mezzo vite. L'installazione di un tetto isolante può generare due tipi di ventilazione:

una micro ventilazione, tra coppi e listellatura, che serve a smaltire l'eventuale ristagno di umidità dovuto alla porosità dei prodotti, a condensazioni e infiltrazioni. I listelli di solito vengono posati singolarmente. Il passaggio di aria attenua inoltre lo shock termico, perché tende a eliminare la differenza di temperatura fra la parte superiore e inferiore della tegola.

una macroventilazione nel sottotetto, cioè tra le tegole e lo strato isolante. L'intercapedine in questo caso ha uno spessore maggiore, che viene ottenuto tramite una doppia listellatura oppure con listelli singoli su pannelli isolanti di spessore maggiore rispetto al caso precedente.



Fig. 46 - Isolamento del tetto

Fig. 47 - Isolamento del sottotetto

Il sottotetto

La ventilazione del sottotetto varia in funzione dell'uso del locale.

Se il sottotetto non è abitabile, è sufficiente realizzare una ventilazione trasversale e verticale, prevedendo sfiati nelle parti alte della copertura, e finestrelle o griglie di areazione nella muratura perimetrale, in posizione contrapposta. Per l'isolamento, si agisce sul solaio piano con materiali di elevato spessore, così da garantire comfort termico agli ambienti sottostanti.

Nel caso di mansarde abitabili, è necessario invece isolare il più possibile l'ambiente dall'esterno, e si agisce anche sulle falde del tetto. Molto spesso questo tipo di intervento non comporta perdita di spazio utile, perché può essere sfruttato lo spazio tra le travi del sottotetto, e, agendo dall'interno, non comporta spese onerose.

7 Esempi realizzativi

Se la pratica “consiglia” di ottimizzare l'esposizione per massimizzare i benefici, non mancano però esempi- che nell'ottica della costruzione residenziale urbana rimangono dei casi studio- di edifici che inseguono il sole. Tale soluzione è stata pensata già dai primi anni del ventesimo secolo, ed esemplificata in costruzioni che tuttora possono essere ammirate.

Un esempio è Villa Girasole, situata in provincia di Verona, costruita nel periodo Art Dèco.

La villa, progettata dall'ing. Carlo Invernizzi nel 1929, è nata dal concetto di “machine à habiter” teorizzato da Le Corbusier pochi anni prima, esaltato dal culto per le macchine e la velocità proprie del futurismo. L'edificio è a due piani, con pianta ad L, ed è in grado di ruotare su due binari concentrici, grazie a carrelli di sostegno ed un motore capace di azionare il meccanismo. Per garantire leggerezza alla villa, la struttura interna è stata realizzata in cemento armato, mentre l'involucro esterno è stato realizzato in lamina d'alluminio.



Fig. 48 -Villa Girasole

La disposizione interna rispetta il criterio di comfort utilizzato nella progettazione dell'involucro esterno: il piano terra è destinato a soggiorno, zona pranzo, studio, cucina; al piano superiore si sviluppano le stanze da letto e i servizi.

La rotazione completa della costruzione era prevista in 9 ore e venti minuti, con velocità di 4 mm/s.

Se Invernizzi è stato precursore in tempi non sospetti (ma ricordiamo anche Gaudì, come esponente di una architettura human&eco-friendly), esistono anche esempi decisamente più recenti, che, basandosi sullo stesso criterio di base, di coniugare comfort e sfruttare le risorse naturali, hanno il vantaggio di poter sfruttare tecnologie innovative per amplificare i risultati già ottenuti precedentemente.

Nel 1992, ad esempio, è stato costruito l'Heliotrop, edificio rotante nei pressi del quartiere solare di Friburgo, in Germania.

La forma di questo palazzo residenziale è essenzialmente cilindrica, ed è realizzata con moduli in legno ancorati ad un telaio centrale, contenente le canalizzazioni degli impianti e la scala a chiocciola. Alla base della colonna centrale è presente un motore elettrico che fa ruotare la casa di 2 gradi ogni 10 minuti, permettendo così di controllare l'irraggiamento solare, sia in inverno (massimizzando gli apporti termici e luminosi), sia d'estate (evitando il surriscaldamento degli ambienti). La totalità dell'involucro, sia nelle parti vetrate, con serramenti a triplo strato, sia nelle pareti prive di infissi, garantisce un ottimo isolamento.

Oltre alle peculiarità della struttura, sono le tecnologie per la produzione di energia a rendere questo edificio un esempio notevole di green building. Sono infatti presenti sia un impianto solare termico a tubi sottovuoto, per coprire il fabbisogno termico, sia un impianto fotovoltaico da 6,6 kWp che, grazie all'inseguimento solare, garantisce una produzione di energia elettrica che copre i consumi dell'edificio.

**Figura 49** - Heliotrop**Figura 50** - Suite Vollar

Il guadagno solare non si esplica solo nella possibilità di ottenere una temperatura ottimale in ogni stagione, ma anche nell'ottimizzazione della luminosità degli ambienti.

La pianta dell'edificio può essere studiata anche ai fini di questo effetto. In particolare, il problema si pone per edifici a più piani dove, al contrario di quelli ad un solo piano, la luminosità varia in funzione dell'altezza e della presenza di altri edifici nelle vicinanze.

La profondità massima raggiungibile dall'illuminazione naturale diurna è, a partire dal perimetro, di 5 metri; il resto della profondità va coperto con illuminazione artificiale, a meno che l'esposizione al sole sia su più di una facciata, nel qual caso la profondità massima può aumentare. Il massimo della profondità che permette di sfruttare l'illuminazione naturale è di circa 10 metri.

Altro palazzo capace di ruotare alla ricerca della migliore esposizione solare è l'edificio residenziale Suite Vollar di Curitiba, in Brasile. È il primo al mondo che ha tutti i piani che ruotano di 360° indipendentemente l'uno dall'altro, ed è composto da 11 appartamenti e un Executive Center. Rispetto ai vari esempi precedenti, rappresenta un notevole salto di scala e di prospettiva, che ha aperto la strada all'elaborazione di progetti ambiziosi per realizzare grattacieli in grado di mutare la propria esposizione e integrare generatori eolici e fotovoltaici, come nel caso della Rotating Tower di Dubai negli Emirati Arabi. Un edificio del genere permette di ottimizzare lo sfruttamento della luce solare, la ventilazione naturale e il riscaldamento diretto.

Nella Suite Vollard, ogni appartamento (uno per piano da 287 m²) è caratterizzato da spazi disposti a raggiera attorno al centro dell'edificio; la percezione del panorama è simile a quella di uno sfondo mobile. La parte centrale di ogni abitazione è fissa e ospita la cucina, i bagni, una stanza da letto di servizio, la lavanderia.

L'edificio è dotato di una facciata continua o curtain wall, in cui gli infissi sono applicati alla struttura metallica ruotante dei soffitti e dei piani. A chiusura sono impiegati doppi vetri, isolanti, laminati, spessi 3 mm + 3 mm con un'intercapedine di 10 mm. Gli infissi assicurano un isolamento termico e un risparmio energetico fino al 50%, anche con l'uso di aria condizionata e riscaldamento. La riduzione dell'isolamento acustico si aggira fra i 35 e i 50 dB.

Ogni piano, e quindi ogni appartamento del Suite Vollard, è dotato di un motore elettrico che ne consente la rotazione nei due sensi; per compiere una rotazione completa basta un'ora, e il sistema è programmabile. Il consumo energetico è piuttosto ridotto; per compiere una rotazione completa a un appartamento occorre l'equivalente dell'energia necessaria a fare un bagno in una vasca idromassaggio.

Capitolo 2

Fonti rinnovabili ed efficienza energetica: produrre energia secondo criteri sostenibili

Il passo successivo alla realizzazione di un involucro con determinate performance è l'applicazione di tecnologie attive per la produzione di energia elettrica e termica.

Vale la pena, al fine di illustrare le potenzialità e i vantaggi (nonché gli svantaggi o le problematiche) delle tecnologie, soffermarsi su quelle che offrono maggiori possibilità di integrazione nel contesto edilizio, tralasciando quelle che, come il minieolico, risultano applicabili più in zone abbastanza isolate che nella complessa struttura urbana.

Verranno perciò descritti i sistemi per la produzione di energia elettrica, e di energia termica, in quanto entrambi possono sgravare la rete nazionale dalle richieste dell'utenza.

Per quanto riguarda l'energia elettrica, il collegamento è immediato. Per l'energia termica, basti considerare che una quota sostanziosa dei consumi elettrici nazionali deriva dal condizionamento ambientale, che può essere efficacemente realizzato tramite sistemi quali solare termico, geotermico e cogenerazione, senza l'ausilio dell'energia elettrica da rete.

Questa possibilità non deve sostituirsi alla necessità di progettare l'edificio in modo che abbia bassi fabbisogni energetici. La scelta dovrà quindi prima ricadere su sistemi strutturali che rispettino criteri di sostenibilità, e che risultino quindi compatibili con l'ambiente circostante e sfruttino le risorse naturali, e successivamente fare ricorso a tecnologie di produzione da fonti energetiche rinnovabili. A tal fine, è bene rivolgere l'attenzione a quei sistemi integrabili nell'edificio, ovvero concepiti come parte di esso, e non "sovrapposti". Rientrano nell'ambito del riscaldamento degli ambienti anche le classiche caldaie a biomasse che però, essendo sistemi più semplici e comunque di potenzialità più limitata rispetto a quelli appena nominati, vengono tralasciate.

Partiremo dunque da un rapido excursus sui sistemi solari termici, per poi passare al solare fotovoltaico, alla geotermia, e alla cogenerazione, con un breve cenno alle pompe di calore, che sono parte integrante dei sistemi di condizionamento ambientale a fonti rinnovabili e che hanno trovato una maggiore potenzialità di uso grazie a queste tecnologie.

1 Solare termico: calore dal sole

Con il termine “solare termico”, s’intende la tecnologia che sfrutta l’irraggiamento del Sole per la produzione di calore a bassa, media o alta temperatura. La tecnologia a bassa temperatura riguarda sostanzialmente i sistemi di produzione di acqua calda sanitaria o per il riscaldamento di locali abitativi, e lavora in un range di temperature compreso tra i 60 e i 150 °C. Le tecnologie a media e alta temperatura intervengono, invece, soprattutto in applicazioni industriali per mezzo di sistemi a concentrazione parabolici lineari o puntuali. Allo stato attuale, le tecnologie a bassa temperatura hanno conseguito tali risultati di prestazioni e affidabilità, da poter essere considerate alla pari dei più consolidati e tradizionali sistemi per il riscaldamento dell’acqua e dell’aria ad uso domestico.



Figura 1- Impianto solare termico (Kloben)

Il principio di funzionamento di un impianto solare termico è molto semplice. Elemento fondamentale è il collettore – o pannello – solare, dal quale viene captato il calore proveniente dalla radiazione solare tramite “effetto serra”. Quando i raggi solari incidono sulla superficie vetrata di copertura, solo una piccola frazione della radiazione, pari al 4% circa, viene riflessa, mentre quasi tutta la restante parte attraversa la faccia esterna e penetra all’interno, dove viene assorbita da una piastra captante di colore

scuri. Una volta che tale elemento si scalda, emette energia sotto forma di radiazione infrarossa, che però viene riflessa dal vetro, poiché ha una lunghezza d'onda elevata. In questo modo, la radiazione rimane all'interno del collettore; il calore viene ceduto ad un fluido termovettore, che trasporterà l'energia al serbatoio di accumulo.

Per aumentare l'effetto serra, vengono adottati ulteriori accorgimenti come un'accurata sigillatura del vetro con opportune guarnizioni e una buona coibentazione del pannello stesso verso l'esterno, in modo di sfruttare al massimo il calore "intrappolato" progressivamente nel sistema.

I pannelli solari sono sensibili, oltre all'irraggiamento diretto, anche a quello diffuso, così da essere efficienti, seppur in modo ridotto, anche in caso di cielo coperto.

1.1 Sistemi solari termici

Un sistema solare termico è costituito essenzialmente da 4 elementi:

- il collettore solare;
- il circuito solare;
- il serbatoio d'accumulo;
- il sistema di controllo e regolazione.

Le principali tipologie di **collettori** sul mercato per uso residenziale sono quattro: collettori piani, collettori a tubi sottovuoto, collettori scoperti e collettori ad aria.

Collettori piani: sono i pannelli con la struttura più tradizionale e classica, e sono tra i più diffusi in commercio negli ultimi venti anni di produzione. Gli elementi base sono: una superficie trasparente, di vetro temprato o materiale polimerico, un fascio di tubi fissati su di una piastra assorbente di colore scuro, una struttura portante, costituita da una cornice di acciaio o alluminio anodizzato, un fondo piano retrostante in lamiera zincata o vetroresina, e uno strato isolante di lana di roccia o poliuretano, per la coibentazione.

All'interno dei tubi scorre il fluido termovettore, di solito una miscela di acqua e glicole (fluido antigelo, che abbassa il punto di solidificazione e innalza quello di vaporizzazione).

Questi collettori, dal profilo rettangolare, contengono al loro interno generalmente aria, ma possono anche essere riempiti con gas nobili per migliorare le prestazioni.

Le dimensioni variano moltissimo e vanno da 1,5 m² a modulo fino a 8 m² e la tendenza dei produttori è quella di rendere disponibili sul mercato moduli di taglia sempre maggiore. Questo comporta vantaggi come quello di ridurre il numero di giunzioni tra più moduli e quello di minimizzare il rapporto superficie/volume per limitare al massimo le perdite di calore. Di contro, però, questo implica strutture adeguatamente più robuste e stabili.

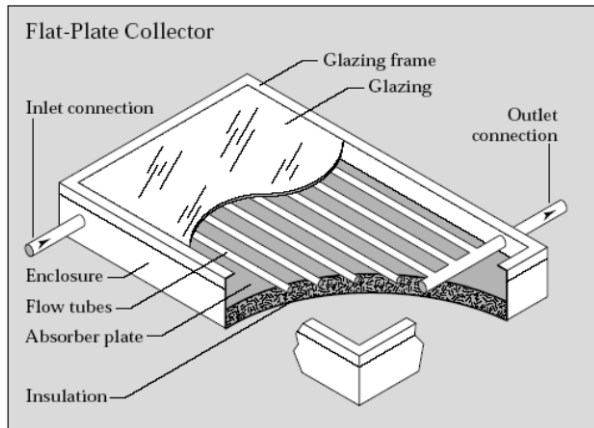


Figura 2 - Sezione di un collettore solare piano.

Il cuore del collettore è la piastra assorbente, che viene realizzata, solitamente, in rame o alluminio (o, per temperature particolarmente basse, materiali plastici come EPDM, polipropilene o polietilene) ed è collegata solidamente ai tubi in cui scorre il fluido.

Un parametro molto importante è il *coefficiente di emissione* (ϵ), dato dal rapporto tra il calore emesso e l'energia assorbita. Per contenere nel modo più efficace tale parametro, si applica un rivestimento superficiale selettivo, capace di massimizzare la conversione dell'irraggiamento in calore e di trattenerlo: in questo modo si raggiunge un livello di assorbimento fino al 90%.

L'involucro, composto da cornice e cassa metalliche, oltre ad avere una funzione protettiva dalle eventuali condizioni climatiche avverse esterne, ha l'importante ruolo di isolare termicamente l'ambiente interno ad esso: protegge dalle correnti d'aria e dai venti, che comporterebbero perdite per convezione, e limita le perdite per conduzione, attraverso l'inserimento di materiali isolanti sul perimetro laterale e posteriore, come schiume poliuretaniche o fibre minerali quali lana di roccia e fibra di vetro. I collettori piani sono, sicuramente, tra i modelli più collaudati in commercio e questo permette loro di garantire un ottimo rapporto qualità/prezzo.

Collettori a tubi sottovuoto: è possibile incrementare l'efficienza dei moduli praticando il vuoto tra l'assorbitore e la copertura trasparente. Il singolo modulo è composto di più tubi paralleli tra loro (circa 6÷9 tubi), i quali rappresentano l'unità base di funzionamento dell'intero sistema.

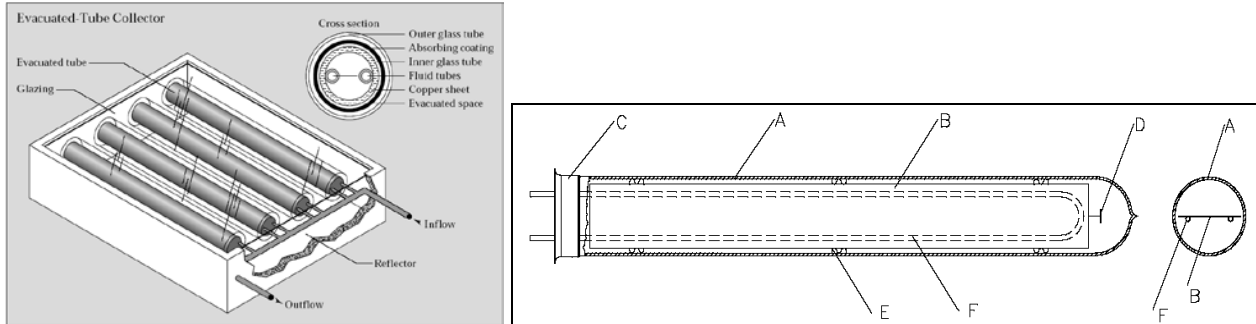


Figura 3 - Collettori a tubi sottovuoto. Sezione del pannello e del tubo

Le elevate prestazioni di tali collettori sono dovute al fatto che, in fase d'assemblaggio, l'aria viene aspirata dall'involucro tubolare trasparente a tenuta. L'assenza d'aria riduce drasticamente le dispersioni – convettive e conduttive - di calore verso l'esterno. Ciascun tubo ha al suo interno una lamina di materiale selettivo e, dietro a questa, i tubi in cui viene fatto scorrere un fluido a bassa temperatura d'ebollizione (pentano ma eventualmente anche acqua), che raccoglie il calore per mezzo di un cambiamento di fase per poi cederlo, attraverso uno scambiatore in cima al modulo, ai fini delle varie funzioni. Con questa tecnica ad alta efficienza si possono raggiungere temperature comprese tra 75 e 150°C. Un'alternativa è quella di unire le estremità di un tubo esterno, trasparente, e un tubo interno che ha la funzione di assorbitore, ricoperto di uno strato altamente selettivo, ed estrarre l'aria dall'intercapedine formata. Questa soluzione permette di sfruttare al meglio la componente d'irraggiamento diffusa oltre che a quella diretta e, in più, la sezione circolare dell'assorbitore permette d'intercettare, per gran parte della giornata, i raggi solari perpendicolarmente. In alcuni modelli viene aggiunto uno strato riflettente di alluminio anodizzato sul fondo della cassa del modulo, allo scopo di rinviare e focalizzare sui tubi la restante parte dei raggi solari captati.

Questa categoria di collettori ad alta efficienza, capaci di raggiungere temperature più elevate, è sicuramente più costosa, ma dà una producibilità più elevata nell'arco dell'anno, e risulta idonea all'impiego in zone ad insolazione medio-bassa e con condizioni climatiche rigide, nonché per integrazione con l'impianto di riscaldamento.

Collettori scoperti: sono costituiti da una serie di tubi di plastica, colorati di nero, ma si distinguono dai classici collettori piani per la mancanza della copertura trasparente superiore. Si tratta di sistemi molto semplici dove l'acqua riscaldata viene usata direttamente. Per funzionare adeguatamente hanno bisogno di temperature esterne non inferiori ai 20°C e, allo stesso tempo, non consentono di raggiungere temperature dell'acqua particolarmente elevate, visto che non sono isolati termicamente.

Trovano applicazione per piccoli impianti di uso estivo: riscaldamento delle piscine, docce negli stabilimenti balneari e nei campeggi.

Collettori ad aria: il fluido termovettore primario usato in questo tipo di collettori non è un liquido, ma semplicemente aria. Per le caratteristiche proprie di questo fluido, si tratta di pannelli adatti ad impianti di riscaldamento degli edifici.

Questa soluzione prevede l'uso di pannelli piani, dove l'aria fluisce non più in tubi, ma circola più semplicemente tra vetro e assorbitore oppure tra quest'ultimo e il fondo del collettore.

L'assorbitore solitamente è alettato, in modo da rendere più lento e tortuoso il percorso del flusso d'aria: in questo modo, l'aria permane all'interno del pannello per un periodo più lungo e assorbe la maggior quantità di calore possibile, vista la minore capacità dell'aria nello scambio di calore rispetto ai liquidi.

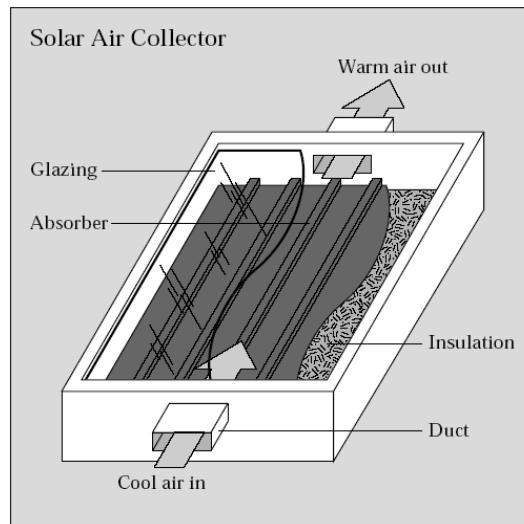
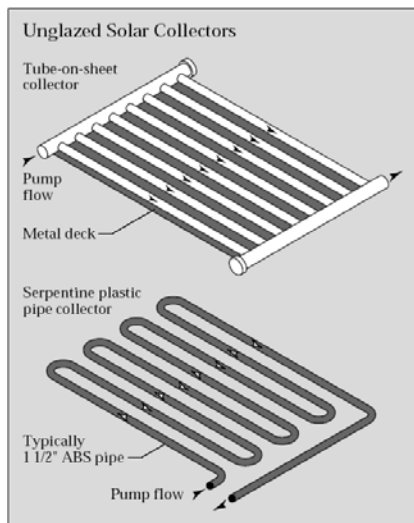


Figura 4 - Collettori scoperti, con piastra captante e sola serpentina

Figura 5 - Sezione di collettore ad aria

Il circuito solare consiste in un normale circuito idraulico costituito da tubazioni, una eventuale pompa di circolazione, valvole di regolazione e un vaso d'espansione, al fine di contenere la dilatazione del fluido termovettore quando la temperatura d'esercizio risulta troppo elevata. Per minimizzare le perdite di calore, la distanza tra il collettore e il serbatoio deve essere più piccola possibile. Le tubazioni sono solitamente in rame e vengono coibentate, in particolare quelle che passano all'esterno dell'edificio, con materiali resistenti alle intemperie e ai raggi UV.

I circuiti solari possono distinguersi in due categorie: “open loop” (circuito aperto), cioè un sistema che prevede l'uso di acqua di rete, che, dopo il passaggio all'interno del collettore con conseguente riscaldamento, viene utilizzata dall'utente, e “closed loop” (circuito chiuso), sistema che presume l'uso di due circuiti separati. In questo caso, si ha un circuito primario, proprio del pannello, in cui circola una miscela di acqua e antigelo, che ha lo scopo di accumulare il calore della radiazione solare, e il circuito secondario, collegato all'impianto idraulico della casa, al fine di utilizzare l'acqua calda prodotta per i servizi domestici. I due circuiti sono collegati tramite scambiatore di calore. Quest'ultimo tipo di impianti risulta la migliore soluzione in ambito residenziale: anche se più costosi, risultano infatti più efficienti.

Il sistema solare termico prevede un **serbatoio termicamente isolato**, allo scopo di accumulare a lungo termine l'acqua calda prodotta. Se il sistema è destinato esclusivamente alla produzione d'acqua calda sanitaria, la capacità deve essere circa 1,5÷2 volte il consumo giornaliero, tenuto conto che una persona richiede 50÷60 litri/giorno. La superficie interna è generalmente fatta d'acciaio smaltato o acciaio inossidabile (più durevole, ma anche più costoso), mentre lo strato coibentante, spesso di materiale plastico, deve raggiungere almeno i 10cm di spessore.

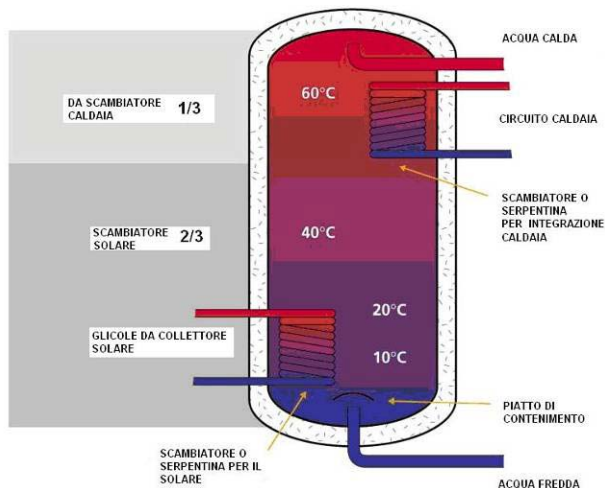


Figura 6 - Sezione di serbatoio di accumulo per impianto solare termico, con dettaglio della stratificazione della temperatura al suo interno.

Tale contenitore, nel caso sia prevista una struttura “closed loop”, prevede al suo interno uno scambiatore di calore, nel quale circola il liquido caldo del circuito primario, che riscalda l’acqua contenuta nel serbatoio stesso. Si hanno solitamente due serpentine ad alta efficienza in rame, una nella parte bassa, nella quale circola il fluido termovettore proveniente dal collettore, l’altra nella parte alta, collegata ad un sistema di riscaldamento ausiliario termico o elettrico, il quale interviene tutte le volte che si ha una insolazione insufficiente o nel caso di avarie del sistema solare. Nei moderni accumulatori, la disposizione verticale e la presenza di setti interni permettono la stratificazione termica, cosicché l’acqua calda venga a trovarsi sempre nella parte più alta del serbatoio, dalla quale avviene il prelievo.

1.2 Sistema di controllo e regolazione

Il sistema di controllo e regolazione ha il compito di governare completamente e in modo efficace il funzionamento dell’impianto, e prevede una centralina elettronica che comanda l’avvio e lo spegnimento della pompa di circolazione, se prevista, e in ogni caso tutto il sistema di circolazione del fluido termovettore, in relazione ai segnali che riceve dai sensori posti nel serbatoio e nei pannelli.

La centralina, infatti, confronta (per mezzo di un termostato differenziale) la temperatura dell’acqua nel serbatoio con quella del fluido nei pannelli, e innesca la circolazione se la differenza di temperatura è superiore a 5-8°C. Nel caso, invece, la differenza di temperatura si riduca a meno di 2÷3°C, il sistema di circolazione si blocca attraverso l’inserimento di una valvola di non ritorno posta a monte dei collettori.

1.3 Tipologie di impianto

Gli impianti solari termici possono essere distinti in due categorie: a circolazione naturale e a circolazione forzata.

I primi sistemi, più semplici, impongono che il serbatoio d'accumulo sia posizionato più in alto dei pannelli captanti e a breve distanza da questi, visto che la potenza del flusso è, di solito, bassa. Il funzionamento, infatti, si basa sulle proprietà dei fluidi che, quando riscaldati, diminuiscono di densità e tendono a creare una naturale stratificazione, così che nella parte superiore del serbatoio si ha il fluido più caldo. Nel momento in cui l'irraggiamento si fa più debole, il fluido nel collettore diventa più pesante di quello transitante nel serbatoio e il ciclo si ferma, impedendo la dispersione dell'energia termica ormai raccolta.

Gli impianti a circolazione naturale, non essendo dotati di gruppo pompa e centralina di controllo, hanno costi molto minori, e minore necessità di manutenzione. Tuttavia, l'impossibilità di controllare il flusso può influire sullo scambio termico e sul servizio reso all'utenza.

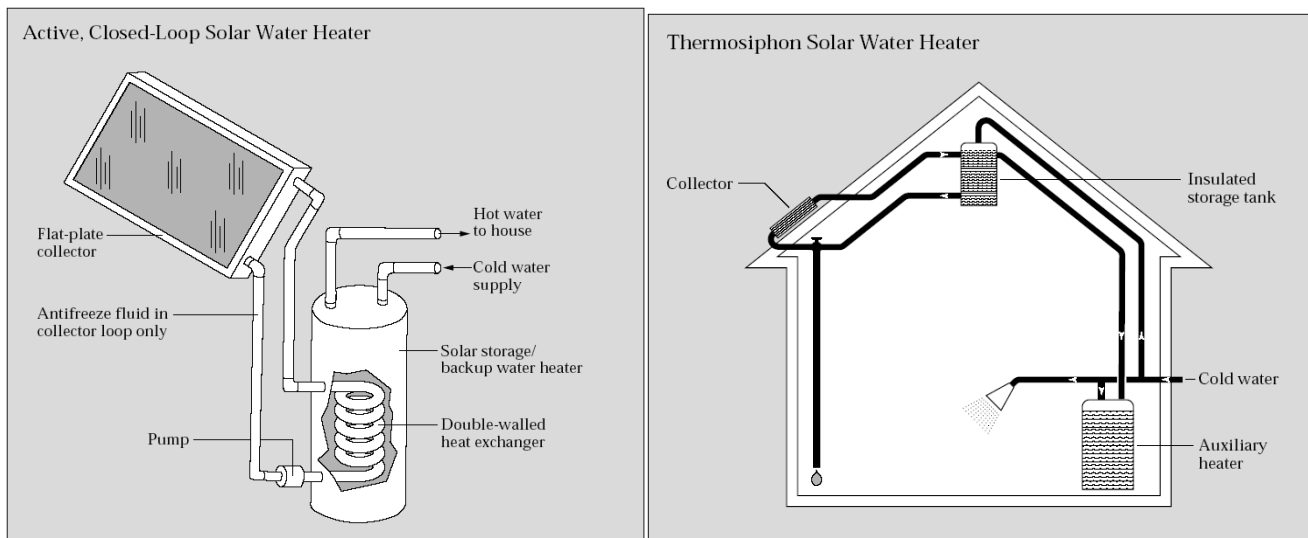


Figura 7 - Impianto a circuito chiuso

Figura 8 - Impianto solare a circuito chiuso con caldaia ausiliaria

Gli impianti a circolazione forzata sono dotati, invece, di una pompa che spinge il fluido termovettore nel suo percorso: la circolazione risulta più rapida e fluida, così da ottenere un'efficienza d'impianto superiore, a fronte di costi d'installazione poco più elevati. Le modalità impiantistiche sono molteplici

e prevedono la produzione di acqua calda sanitaria e il riscaldamento degli ambienti, nonché il loro raffrescamento nel caso venga abbinata all'impianto una macchina ad assorbimento.

Le considerazioni relative al dimensionamento cambiano a seconda della scelta impiantistica. La sola produzione di acqua calda sanitaria prevede il calcolo del fabbisogno a persona al giorno, così da poter dimensionare pannelli e sistema di accumulo. Nel caso invece del riscaldamento, bisogna tenere anche conto della superficie da riscaldare, e, per quanto riguarda il raffrescamento, i volumi in gioco. Contemporaneamente, la scelta dei pannelli è sufficientemente vincolata, in virtù delle temperature da ottenere.

1.4 Acqua calda sanitaria

Le odierne tecnologie solari termiche permettono la realizzazione di impianti in grado di soddisfare fino al 95% del fabbisogno di acqua calda sanitaria dell'utenza, in dipendenza della zona climatica di riferimento. In generale, la richiesta di acqua calda sanitaria risulta invariata durante l'anno, ed è quindi possibile effettuare un corretto dimensionamento dell'impianto in modo tale da massimizzare il risparmio.

Nel caso di piccole utenze (2-4 persone) si può prendere in considerazione sia l'impianto a circolazione naturale che quello a circolazione forzata, che invece risulta necessario nel caso di utenze più numerose. E' sempre consigliabile l'integrazione del sistema con un impianto ausiliario, che si tratti di caldaia o pompa di calore, utili nel periodo invernale, in cui l'insolazione è minore.

La configurazione dell'impianto ausiliario può essere in serie o parallelo.

Un esempio di integrazione, spesso adottata, è quello che prevede l'installazione di una tradizionale caldaia murale a gas, collegata tramite valvola deviatrice a tre vie. Nel periodo estivo, si esclude la caldaia e si sfrutta esclusivamente l'impianto solare, mentre in inverno si fa passare l'acqua, proveniente dai pannelli solari, nella caldaia, che avrà in ingresso acqua già preriscaldata, e dovrà quindi lavorare di meno, rispetto alla configurazione con alimento da rete idrica.

Installazione: in genere, si preferiscono le applicazioni sui tetti piani, terrazze e giardini, per la loro facile accessibilità e per la possibilità di un posizionamento e un orientamento dei collettori ottimale. Nelle applicazioni residenziali, si dovrà studiare attentamente la geometria solare che determina le zone più soleggiate e quelle ombreggiate durante l'arco dell'anno, così da poter stabilire la migliore collocazione dei pannelli solari. L'esigenza della migliore esposizione e conseguentemente del più alto

rendimento dell'impianto deve trovare il giusto compromesso con l'accessibilità, la semplicità d'ancoraggio dei collettori al fine di determinare la soluzione globale più conveniente. La captazione ideale si ottiene con un orientamento a Sud, con una tolleranza di $\pm 25\div 30^\circ$ sull'orizzontale. L'inclinazione ottimale sulla verticale è di circa $35\div 40^\circ$, ricordando però che nei funzionamenti annuali i collettori devono avere inclinazione pari alla latitudine del luogo, la quale aumenta o diminuisce secondo che si voglia favorire l'irraggiamento nei periodi rispettivamente invernali o estivi (si può passare dai 25° negli usi prevalentemente estivi ai 60° invernali quando il Sole rimane più basso).

Dimensionamento: per dimensionare correttamente un impianto ad energia solare è necessario conoscere il clima caratteristico della zona. Si deve poi individuare il fabbisogno medio giornaliero d'acqua calda che l'impianto deve soddisfare: in generale, noto il numero degli utenti, si stima un consumo mai inferiore ai $30\div 50$ litri/giorno per persona. Si tiene sempre conto di una disponibilità in eccesso, in modo da preservarsi in caso di prolungata assenza del Sole. Aggiungendo i consumi di elettrodomestici come lavatrice e lavastoviglie, il consumo medio di una famiglia risulta pari a circa 300 litri al giorno. I serbatoi vanno dimensionati generalmente per contenere almeno $50\div 80$ litri/m² di collettori installati. Inoltre, considerando due o tre giorni di autonomia, bisogna stimare almeno $70\div 120$ litri a persona, ricordando che con 100 litri di acqua a 60°C si ottengono, tramite miscelazione, circa 200 litri a $35\div 38^\circ\text{C}$, vale a dire la temperatura normale d'impiego dell'acqua calda sanitaria. Con riferimento a tre siti in Italia, si può avere il dimensionamento di massima riportato in tabella 1.

Zona climatica	Superficie collettori [m ² /persona]	Inclinazione collettori [gradi]
Milano	$1\div 1,2$	$45\div 50$
Roma	$0,7\div 0,8$	$41\div 45$
Palermo	$0,6\div 0,65$	$38\div 40$

Tabella1- Caratteristiche principali per dimensionamento dei collettori solari

1.5 Riscaldamento domestico

L'istallazione di impianti solari termici nell'ambito residenziale prevede sempre più spesso che, al riscaldamento dell'acqua calda sanitaria, sia accoppiato lo sfruttamento del sistema a fini di riscaldamento o raffrescamento degli ambienti.

Questo comporta un dimensionamento con criteri diversi da quelli descritti sopra.

In generale, si riesce a coprire circa il 60% del fabbisogno legato alla climatizzazione, ed è necessario prevedere un sistema a bassa temperatura, come i pannelli radianti a pavimento o a parete, che possono lavorare a temperature non superiori a 40-50°C, visto che i tradizionali radiatori necessitano di temperature non inferiori a 70°C.

La tipologia di pannello più adatta a queste applicazioni è quella a tubi sottovuoto, data la loro alta efficienza.

Per il dimensionamento è necessaria la conoscenza di un numero maggiore di parametri ulteriori: dimensioni della casa, isolamento termico presente, numero dei corpi riscaldanti e tipologia di questi ultimi. In generale, si calcolano circa 6 m² di superficie captante per 100m² di superficie abitata, con uno o più serbatoi di capacità totale pari a 1000-1500 litri.

Un accorgimento utile per ottimizzare l'efficienza dell'intero impianto è di disporre il serbatoio dell'acqua sanitaria, più piccolo, all'interno di quello per l'acqua calda destinata al riscaldamento, ben più grande.

1.6 Tipologie impiantistiche per condomini

Quando possibile, è preferibile l'istallazione, nei condomini, di impianti centralizzati, che permette di sfruttare al meglio le potenzialità del sistema, evitando inutili sprechi. Vediamo due configurazioni tipo.

La prima configurazione prevede l'istallazione di un boiler di circa 120÷150 litri per ogni utenza. Ogni boiler è collegato a una coppia di collettori adeguatamente dimensionati (superficie non inferiore a 2 m² per nucleo familiare di 4 persone), e da essi alimentato. A loro volta, i due collettori sono collegati all'intero parco solare, dislocato sul tetto. Ciascun boiler è dotato di una centralina elettronica, la quale misura continuamente la temperatura dello stesso e quella dei pannelli solari, in modo da aprire o chiudere il circuito in funzione della differenza di temperatura tra pannelli e serbatoio. Data l'improbabilità di totale contemporaneità della domanda, sarà sicuramente presente un esubero di acqua calda, ma è buona precauzione prevedere una caldaia a gas integrativa.

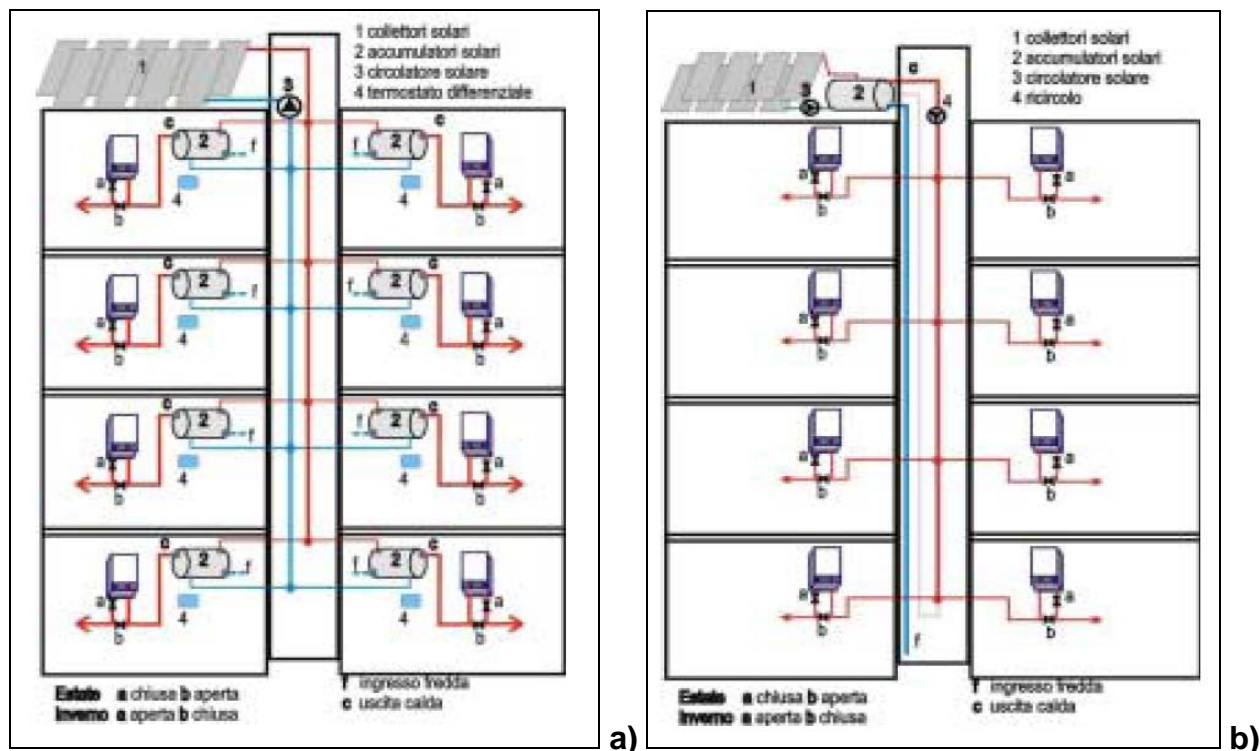


Figura 9 - tipologie impiantistiche per condomini. a) con accumulo per ogni singola utenza più caldaia ausiliaria, b) con accumulatore comune.

La seconda configurazione è dimensionata sul numero totale degli utenti. Il parco solare è comune, così come il boiler, che viene collocato in un apposito locale caldaia. Questa configurazione comporta diversi vantaggi: il serbatoio, essendo comune, ha un rapporto superficie/volume minore, e questo limita le dispersioni termiche.

Anche i costi d'installazione della distribuzione idrica sono ridotti, poiché è previsto un unico tubo di alimentazione dell'acqua fredda ed uno solo di distribuzione dell'acqua calda. Si raggiunge, quindi, un livello di funzionalità ed economia piuttosto elevato. Sono previsti, per ogni singola abitazione, speciali contatori di sottrazione, che permettono la contabilizzazione dei consumi.

1.7 Integrazione in ambito residenziale

L'integrazione dei pannelli solari, sugli involucri degli edifici in ambito residenziale, è diventato un importante obiettivo delle aziende produttrici, per favorire un sicuro conseguente stimolo ad una più ampia diffusione di questa utile ed efficiente tecnologia solare.

Una volta individuata sull'edificio la giusta area d'installazione, i collettori non hanno particolari esigenze e possono adattarsi a qualsiasi superficie. Sui tetti a falda spiovente, ovviamente, bisogna più o meno accontentarsi dell'inclinazione predefinita dalla collocazione stessa, più liberi, invece, si può essere sui tetti piani, le terrazze e i giardini. Questi ultimi permettono di seguire l'orientamento e l'inclinazione ottimale, attraverso appositi sostegni e ancoraggi. Quando possibile, però, si cerca di evitare l'uso di tali strutture di supporto, costose e deteriorabili, e si cerca di utilizzare direttamente le chiusure esterne degli edifici. Questo permette sia di risparmiare sui materiali edili e sia di eliminare i costi aggiuntivi di sostegno dei collettori solari. Oggigiorno, i pannelli captanti, in passato di notevole impatto visivo, hanno forme e aspetto sempre più gradevole. Installazioni verticali sono anche possibili, ad esempio al posto dei parapetti dei balconi esposti a Sud.



Figura 10 - Impianto solare termico su pensilina.

2 Solare fotovoltaico: elettricità dal sole

Il sistema fotovoltaico ha la funzione di trasformare direttamente ed istantaneamente l'energia solare in energia elettrica. Il fenomeno fu osservato per la prima volta nel 1839, dal fisico francese A. E. Becquerel, ma per arrivare alle celle fotovoltaiche basate sulla tecnologia al silicio, è stato necessario aspettare il 1954. Dalle prime applicazioni soprattutto in ambito spaziale, si è arrivati a quelle prettamente residenziali, che negli ultimi anni hanno avuto forte diffusione e incentivato fortemente lo sviluppo del settore.



Figura11 - Impianto solare fotovoltaico (fonte: Schott Solar)

Il sistema fotovoltaico nasce dall'integrazione di vari dispositivi, meccanici, elettrici ed elettronici, atti a captare, trasformare e regolarizzare l'energia ricavata dalla fonte solare. Nel sistema si intendono compresi, quindi, anche tutti quegli elementi non strettamente caratteristici della conversione fotovoltaica. I componenti caratteristici di un sistema fotovoltaico classico sono:

- il generatore fotovoltaico;
- il sistema di condizionamento e controllo della potenza (BOS, Balance Of System).

Il generatore consiste in un insieme di *moduli fotovoltaici*, interconnessi tra loro a formare l'unità di produzione di corrente elettrica. La struttura di un modulo si basa sulle celle fotovoltaiche. Queste

vengono connesse in serie e/o parallelo, in modo da ottenere la tensione e la corrente desiderate, così da poter immettere in rete l'energia prodotta.

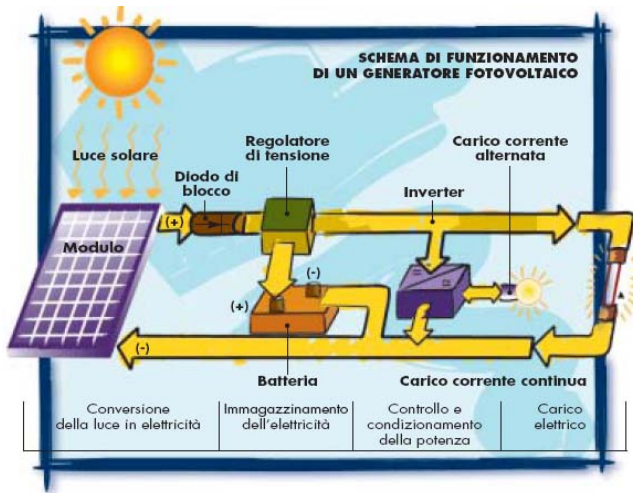


Figura 12 - Schema di funzionamento di un generatore fotovoltaico

In tal senso, l'inverter riveste un ruolo di particolare importanza poichè ha lo scopo di convertire la corrente continua generata dai moduli in corrente alternata (come quella che circola in rete).

Altre apparecchiature necessarie sono:

- *diodo di blocco o di by-pass*, che permette di avere un flusso unidirezionale di corrente, bloccando l'assorbimento che si verificherebbe nel caso una o più celle fossero in ombra;
- *inseguitore del punto di massima potenza* (MPPT -Maximum Power Point Tracker), che consente l'estrazione della massima potenza dal campo fotovoltaico, in relazione alle condizioni di irraggiamento e temperatura dei moduli;

2.1 Tipologie impiantistiche

Gli impianti fotovoltaici per la loro modularità si prestano ad adattarsi ad una qualsiasi utenza. Per le applicazioni residenziali si fa riferimento a impianti connessi in rete, con potenze comprese tra 1 kW_p e 20 kW_p.

La possibilità e i vantaggi correlati alla connessione in rete degli impianti fotovoltaici rende gli impianti ad isola estremamente rari. Essendo poi staccati dalla rete, non li rendono funzionali al nostro discorso in quanto non possono produrre apporti validi alle smart grid.

Per quanto riguarda, invece, gli impianti connessi alla rete, si tratta sicuramente dei sistemi più applicati nell'ambito della generazione distribuita di energia elettrica. Il sistema connesso in rete utilizza due contatori per contabilizzare gli scambi energetici tra la rete e l'utente. I requisiti da rispettare sono riferite all'interfacciamento con la rete, e sono dettati dalla società elettrica che si occupa della distribuzione locale dell'energia.

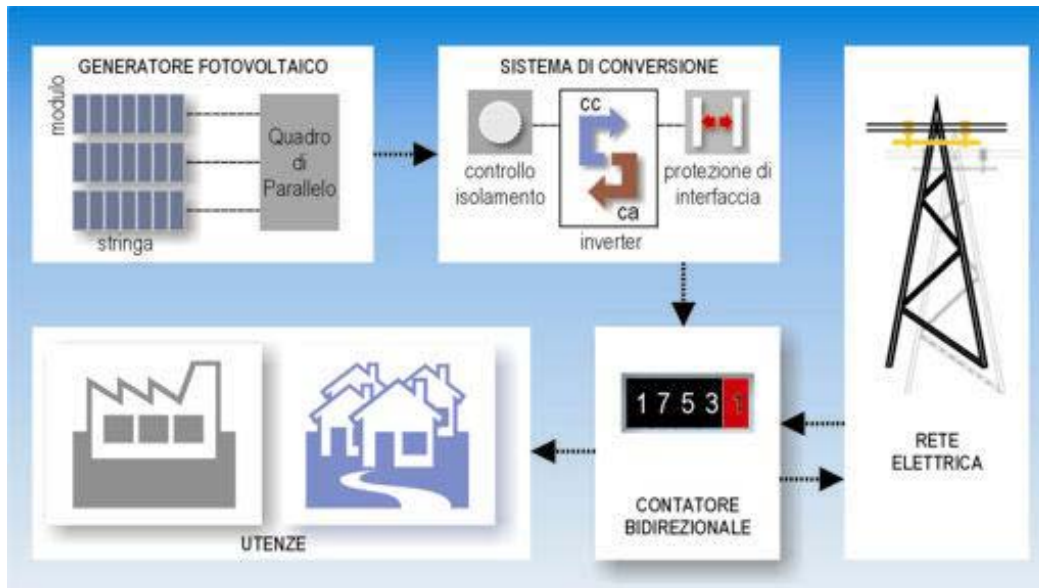


Figura 13 - Schema di connessione alla rete

Dimensionamento di massima di un impianto fotovoltaico connesso alla rete

La progettazione di un impianto fotovoltaico può essere effettuata a partire da:

- consumi dell'utenza
- superficie disponibile.

I due parametri possono essere considerati insieme o separatamente.

Nel caso di intervento di retrofit, si cercherà di soddisfare i consumi dell'utenza, compatibilmente con le superfici a disposizione. Nel caso di nuova costruzione, si può fare una stima di massima dei consumi dell'utenza e cercare di sfruttare la superficie nel modo ottimale.

Esempio:

consumo annuo utenza $C_{\text{annuo}} = 15000 \text{ kWh/anno}$

superficie disponibile: piana, orientata a sud, 250 m^2

località: Roma

Stima di massima

Trattandosi di località del centro Italia, la producibilità annua del sito può essere stimata da letteratura, ed è circa di $P_{\text{stim}} = 1250 \text{ kWh/anno} \cdot \text{kW}_p$

$$W_{\text{stim}} = C_{\text{annuo}} / P_{\text{stim}} = 12 \text{ kW}_p$$

Considerando un'efficienza del 13% per i pannelli, per un irraggiamento standard di 1000 W/m^2 , si hanno $W_{m2} = 130 \text{ Wp/m}^2$ e, per l'installazione di 12 kW_p , sarà necessaria una superficie $S_{\text{pann}} = W_{\text{stim}} / W_{m2} = 92,3 \text{ m}^2$.

La superficie richiesta per l'installazione varierà in funzione dell'installazione stessa.

In caso di installazione di pannelli inclinati su superficie piana, sarà necessaria una superficie circa doppia rispetto a S_{pann} , mentre nel caso di installazione su superficie a falda inclinata si potrà considerare una superficie uguale a S_{pann} .

Calcolo

Dall'Atlante della radiazione solare, disponibile sul sito dell'ENEA, si ricavano dati previsionali circa l'irraggiamento annuo dei vari siti. Per Roma, si ha $I_{\text{annuo}} = 1810,1 \text{ kWh/m}^2 \text{ anno}$, su piano inclinato 30° ed esposto a Sud.

Stimando l'efficienza dell'impianto (comprensivo di cavi, inverter etc) pari a $\eta_{\text{imp}} = 75\%$ (valore minimo accettabile), la producibilità annua dell'impianto sarà: $P_{\text{annua}} = 1810,1 \text{ kWh/kW}_p \text{ anno} \cdot \eta_{\text{imp}} = 1357,6 \text{ kWh/kW}_p \text{ anno}$.

La potenza da installare sarà: $W_{\text{calc}} = C_{\text{annuo}} / P_{\text{annua}} = 11 \text{ kW}_p$.

Scegliendo moduli da 170 W_p , con una superficie $S_{\text{mod}} = 1,344 \text{ m}^2$, saranno necessari:

$$N_{\text{mod}} = 11 \text{ kW}_p / 170 \text{ W}_p = 64,7 \Rightarrow 65 \text{ pannelli.}$$

La superficie totale di pannelli sarà quindi di $S_{\text{tot}} = N_{\text{mod}} \cdot S_{\text{mod}} = 87,36 \text{ m}^2$.

La superficie necessaria per l'installazione sarà definita tramite le considerazioni suddette.

Individuati i dati relativi ai pannelli si può procedere alla scelta degli altri componenti dell'impianto.

2.2 Stato dell'arte delle celle fotovoltaiche

Una critica molto comune agli impianti fotovoltaici è la scarsa efficienza, da cui deriva la necessità di ampi spazi per la generazione di energia. Tale limite deriva dai materiali usati: la tipica cella prodotta industrialmente è costituita da una sottile “fetta” di silicio mono o policristallino, e l'efficienza teorica massima associata è del 30% circa. Nella pratica, si giunge ad un massimo del 17-18% nel caso di moduli in silicio monocristallino di ottima qualità. Inoltre, sebbene i costi della tecnologia al silicio siano in rapida discesa, si stanno valutando altri materiali opzionabili.

Una delle opzioni che si sta diffondendo è quella dei moduli a film sottile, realizzati tramite deposizione di uno strato di materiale semiconduttore (silicio amorfo o composti policristallini) di solo pochi micron direttamente su un substrato di vetro. In questo modo l'impianto gode di una maggiore versatilità in quanto non si è più vincolati all'elemento “pannello” come base per l'impianto.

Oltre all'affermato silicio monocristallino, policristallino e amorfo, si stanno inserendo i moduli a film sottile di tellurio di cadmio (CdTe) e di diseleniuro di indio e rame (CuInSe_2) con efficienze pratiche ancora dell'8÷10%, ma con limiti teorici fino al 28%. Non bisogna, poi, dimenticare le celle a eterogiunzione come quelle sempre di diseleniuro di rame e cadmio oppure di solfuro di rame (Cu_2S) o solfuro di cadmio (CdS) con bassa efficienza ma ottimo rapporto costo-prestazione. Tecnologia promettente è quella basata sull'arseniuro di gallio, che porterebbe ad un rendimento pari al 30% se non superiore, ma che attualmente ha un costo circa triplo rispetto alle altre tecnologie.

Un altro campo di sviluppo è quello delle celle organiche, che comprende tutti i dispositivi nei quali la parte sensibile alla radiazione solare è basata su composti organici del carbonio. La gamma di celle solari organiche è molto ampia, e, mentre alcune sono ancora in fase di ricerca, altre sono in fase di industrializzazione: la tecnologia più matura è quella delle celle “dye sensitized” o DSSC, nelle quali la parte attiva a livello fotoelettrico è costituita da un pigmento, da ossido di titanio e da un elettrolita, e per le quali si parla di efficienze massime pari a 10-12%; per le celle con parte attiva completamente organica, si ha ancora un'efficienza del 5% circa, e per tutte le altre tipologie (ibride organico/inorganico e ibride biologiche) si rimane ancora intorno all'1%.

La composizione di tali moduli, realizzati con un supporto in plastica o vetro e caratterizzati da una buona flessibilità, rendono questa tecnologia molto interessante ai fini dell'integrazione architettonica.

2.3 L'integrazione degli impianti nel contesto edilizio

Una delle più promettenti applicazioni del fotovoltaico è, senza dubbio, quella dedicata al settore edile e, in particolare modo, al comparto residenziale urbano.

Se, in occasione di interventi di retrofit, si preferisce ricorrere a installazioni semplici, su tetti piani o a falda, ottenendo risultati che sono di valenza funzionale, ma non sempre architettonica, nel caso di progettazione ex novo dell'edificio si ha la possibilità di *integrare l'impianto fotovoltaico nella struttura*, in modo da ottenere non solo il vantaggio della produzione energetica, ma anche un ottimo risultato estetico.

In Italia, la superficie di tetti complessiva disponibile (con orientamento verso Sud, Est o Ovest) è di circa 370.000.000 mq, mentre quella delle facciate è di quasi 200.000.000 mq. Se questi spazi fossero coperti da pannelli solari fotovoltaici, sarebbe possibile produrre circa 130 TWh/anno, vale a dire 130 mila milioni di kWh l'anno, pari al consumo annuo di energia elettrica di oltre 30 milioni di famiglie (considerando una media di 4.000 kWh/anno per nucleo familiare). Si tratta ovviamente di calcoli ipotetici, che non tengono conto di molti fattori di vincolo come, ad esempio, quelli di ordine estetico e storico-culturale.

Gli sviluppi tecnologici sono, in questo senso, fortemente legati a quelli estetici, per dare l'opportunità ai progettisti non solo di inserire l'elemento produttivo, ma anche di contestualizzarlo e integrarlo nell'edificio.

In figura è possibile vedere le diverse producibilità associate al posizionamento dell'impianto su superfici variamente inclinate e/o orientate.

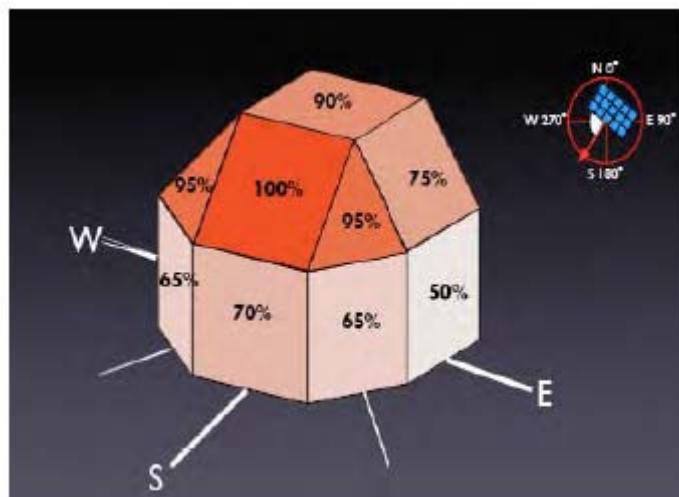


Figura 14 - Percentuali di producibilità in relazione a orientamento e inclinazione della superficie utilizzata.

Oltre alla scelta dell'inclinazione e dell'orientamento, è necessario valutare l'eventuale presenza di ostruzioni ai raggi solari, molto probabile in zone a fitta urbanizzazione. Rimane poi da scegliere la tecnologia più adatta, che verrà preferita, oltre che per motivi di costo, anche in virtù del punto di applicazione: le celle al silicio mono e policristallino presentano moduli del tipo laminati vetro-vetro o vetro-tedlar. Questi possono essere utilizzati mediante la tecnica del *curtain wall* (lastre di vetro circonscritte da cornici metalliche generalmente in alluminio) oppure del *vetro strutturale* (privo di cornice).

I moduli al silicio amorfo aggiungono la possibilità di usare stratificazioni di fogli flessibili di materiale plastico, che possono essere applicati come una guaina di rivestimento, con l'accorgimento di non eccedere in curvature marcate. In generale, comunque, la natura stessa di tutti i moduli fotovoltaici garantisce all'involucro dell'edificio impermeabilizzazione, schermatura e finitura esterna. Scarse sono, invece, le qualità termoacustiche che equivalgono sommariamente a quelle di un semplice vetro, e anzi è necessario prestare particolare attenzione a non installare i pannelli su strati isolanti che favorirebbero un eccessivo accumulo di calore con conseguente perdita di efficienza.

L'inserimento architettonico dei pannelli fotovoltaici può essere effettuato in tre modi:

- applicazione indipendente, nella quale l'edificio ha la sola funzione di supporto;
- per sovrapposizione, che prevede l'uso di strutture di fissaggio e ancoraggio che permettono di installare i pannelli a distanza minima dalla superficie esterna dell'edificio, che rimane comunque un supporto

- per integrazione. In quest'ultimo caso, il fotovoltaico diventa elemento dell'edificio, alla stregua di altri comuni elementi costruttivi. Su quest'ultima tipologia è bene soffermarsi, in quanto la tendenza impiantistica è in questa direzione.



Figura 15 - Copertura piana praticabile (fonte: Erreci)



Figura 16 - Impianto semi integrato

BIPV – Building Integrated Photovoltaics

“La vera integrazione è realizzata quando l’elemento dell’edificio e l’elemento fotovoltaico non possono più essere dissociati.”

E. Schellekens, AIE- European Association of Electrical Contractors.

Questa definizione di integrazione dei sistemi fotovoltaici rispecchia i criteri definiti dalla IEA – International Energy Agency, che intende per elemento dell'edificio tutte le parti di involucro (copertura di tetto, rivestimento di facciata, superficie vetrata), i dispositivi di protezione solare (frangisole) e gli elementi architettonici accessori (pensiline, parapetto di balconi etc) ed ogni altro elemento necessario a garantire il comfort abitativo (schermature visive e acustiche etc). Oltre a sostituire gli elementi suddetti, il sistema fotovoltaico deve avere elevata qualità architettonica, che, secondo i criteri definiti nell'IEA Task 7₂ significa:

- integrazione naturale
- architettura piacevole nel contesto dell'edificio
- buona composizione di colori e materiali

- armonia con l'edificio.

Soddisfare questi requisiti significa, perciò, non più considerare un impianto fotovoltaico come sistema di produzione dell'energia da sistemare in punti "liberi" e adatti dell'edificio, ma renderlo una parte integrante e inscindibile dello stesso, mantenendo inalterata la sua producibilità.

Oltre all'edilizia nel senso stretto del termine, sono compresi nella definizione di BIPV anche gli impianti facenti parte di strutture accessorie "urbane", come pensiline indipendenti e adibite a parcheggio, strutture sportive e ricreative etc.

A tal fine, i moduli fotovoltaici adoperati non sono quelli standard, normalmente commercializzati, ma vengono studiati appositamente per i singoli impieghi. Le case produttrici facilitano la scelta dei progettisti, mettendo sul mercato un'ampia scelta di prodotti, che si differenziano per materiale utilizzato e per forma.

Come accennato, l'installazione indipendente e quella per sovrapposizione si prestano in particolare ad interventi di retrofit, mentre nel caso di BIPV ci si riferisce per lo più a costruzioni ex novo. In particolare, si possono distinguere due tipologie di integrazione:

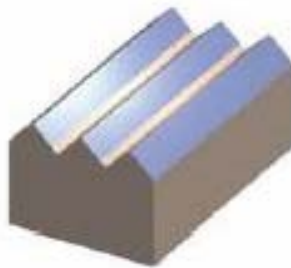
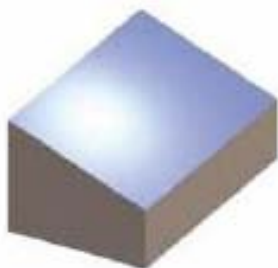
integrazione complementare, quando i moduli costituiscono lo strato esterno di chiusura dell'involucro (porte e finestre, ad esempio) e assolvono, insieme alla funzione energetica, quelle architettoniche di impermeabilizzazione e tenuta all'aria,

integrazione totale, per la quale i moduli sostituiscono del tutto i materiali di rivestimento dell'edificio, svolgendo anche la funzione d'isolamento termico.

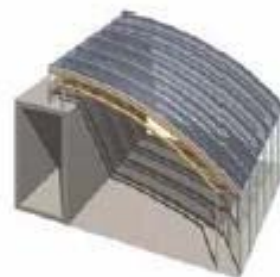
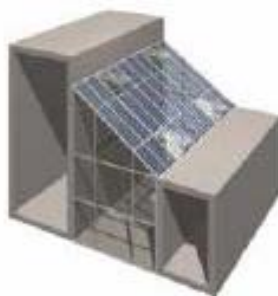
Un'ulteriore classificazione dell'integrazione impiantistica può essere determinata in relazione alla porzione di superficie esterna del complesso strutturale interessata. Possono essere prese in considerazione facciata e copertura, come nella casistica generale riportata nelle figure seguenti.

Istallazioni su copertura piana

Istallazione a file parallele su copertura piana – realizzazione di copertura curva su tetto piano-
Sostituzione di lucernai con moduli fotovoltaici

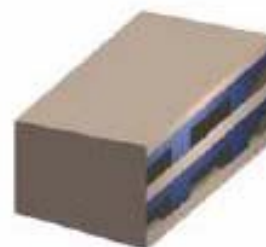


Realizzazione di copertura opaca inclinata - Sostituzione vetrature degli shed – Istallazione su falda inclinata con sostituzione di elementi del tetto

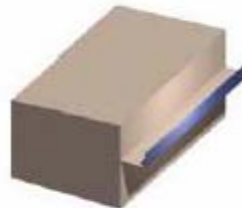
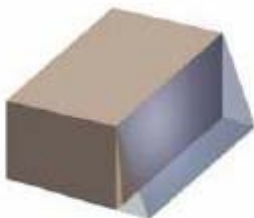


Istallazione su tetto predisposto - Copertura semitrasparente tra due edifici (tipo serra) -
Copertura curva semitrasparente

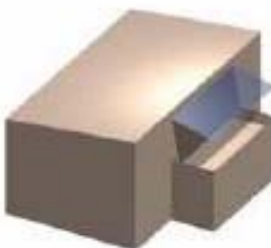
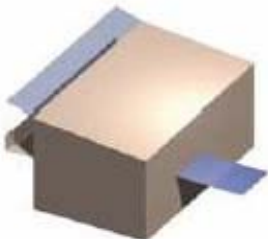
Tabella 2 – Istallazioni su copertura piana

Istallazione su facciata

Copertura facciata intera – sostituzione elementi vetrati – copertura parziale della facciata



Facciata inclinata semitrasparente – elementi di copertura inclinata – sostituzione parapetti



Vari tipi di pensilina

Tabella 3 – Installazioni su facciata

2.5 Soluzioni disponibili sul mercato

Il mercato offre, attualmente, un'ampia scelta di soluzioni dedicate all'integrazione.

Oltre al classico pannello, dotato di vetratura superiore, e chiusura opaca sul retro, si hanno modelli realizzati con doppio vetro, che possono fornire vari gradi di trasparenza a seconda del distanziamento delle celle. L'assenza di cornice di forte spessore, e la sostituzione con elementi più sottili, fornisce una

soluzione facilmente realizzabile e i cui costi risultano variabili in funzione delle dimensioni (standard o speciali) e della finitura desiderata. Questo tipo di pannelli può essere utilizzato in quasi tutte le applicazioni di integrazione, ponendo particolare attenzione allo spessore del vetro, che dovrà essere valutato in base alla forma adottata, al peso della costruzione, alle sollecitazioni previste. Per il vetro frontale sarà sempre adottato il tipo extra-bianco a spessore ridotto (4 mm circa, per moduli piccoli) per ottimizzare l'assorbimento della radiazione luminosa, mentre per quello posteriore si ha margine di scelta per colore, laminazione e caratteristiche isolanti.

Sono inoltre in commercio moduli semitrasparenti, realizzati tramite deposito di film sottile e ablazione laser, che permettono di ottenere minicelle con fascia tipo cornice, così da poter calibrare la trasparenza e il colore desiderati. Per ottenere effetti cromatici particolari si può ricorrere anche a moduli in silicio cristallino, quindi con efficienze più alte, di colori diversi dal blu-nero classico, ormai proposte da diverse aziende.

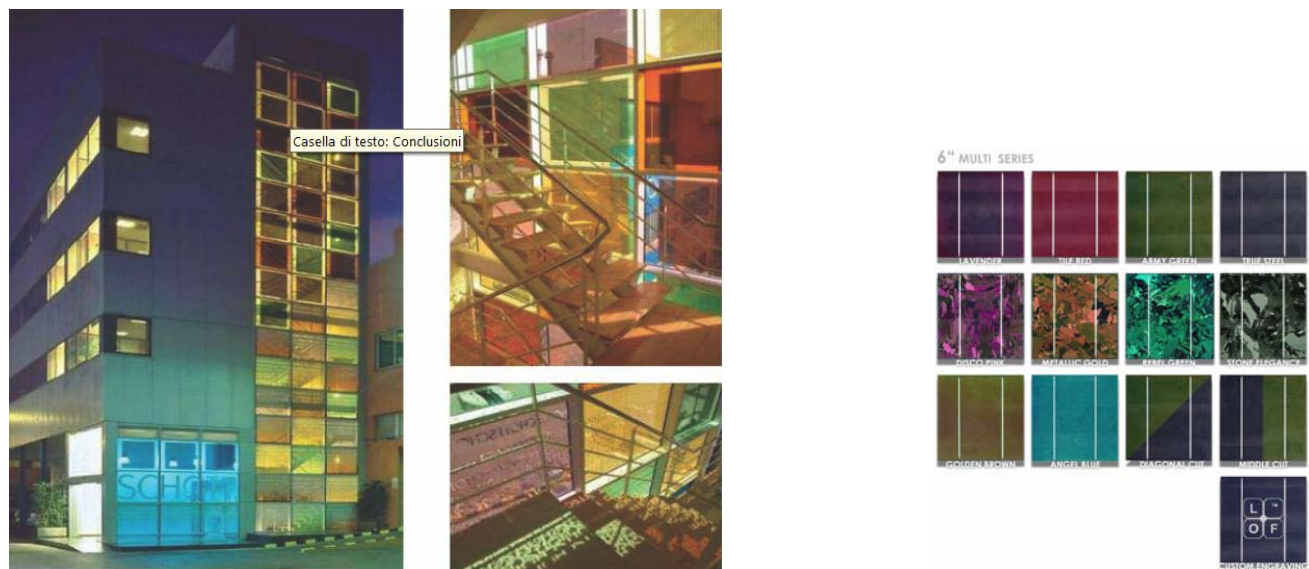


Figura 17 - Possibilità di integrazione con pannelli semitrasparenti di diversi colori (Kaneka)

Figura 18 - Moduli in silicio policristallino colorato (LOF Solar)

Per tetti a falda, la tegola fotovoltaica rappresenta un ottimo compromesso tra impatto estetico, adattabilità e producibilità. Per la realizzazione degli elementi possono essere utilizzati materiali “classici”, come cotto o ardesia, oppure metalli o plastiche, e il risultato finale è un mimetismo quasi totale, con ottimi risultati anche cromatici, tenendo conto della possibilità di utilizzare moduli colorati.

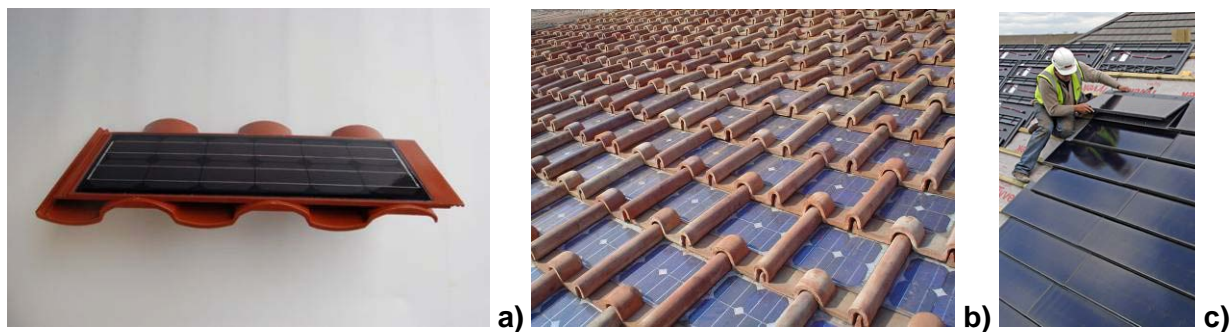


Figura 19 - Modelli di tegola fotovoltaica: a) con base in plastica (Calfinder), b) coppo classico in argilla (Fornace Fonti), c) tegole piatte realizzate interamente in silicio



Figura 20 - a) integrazione di moduli opachi all'interno della facciata (fonte: EPIA); b) e c) alcune realizzazioni con moduli semitrasparenti (Kaneka)

3 Sfruttare il calore del terreno per climatizzare gli ambienti: la geotermia

Lo sfruttamento dell'energia termica contenuta nel suolo terrestre è largamente diffuso, fin dall'antichità, in diversi paesi, sia dal punto di vista energetico sia come risorsa turistica (impianti termali).

In generale, con il termine geotermia si è intesa, almeno fino a qualche anno fa, la geotermia “ad alta entalpia”, cioè lo sfruttamento energetico di siti con “giacimenti” termici ad alta temperatura, ovvero superiori a 100°C, utilizzati per la produzione energetica in centrali termoelettriche; questo è dovuto al fatto che la risorsa geotermica, pur inesauribile, è diffusa e solo raramente abbastanza concentrata per essere utilizzata in modo intensivo.

Negli ultimi anni si è fatta strada la geotermia a bassa entalpia, ovvero quella che sfrutta i gradienti termici presenti naturalmente nel sottosuolo a basse profondità, con temperature inferiori ai 100°C. Questo tipo di applicazione si presta molto bene alla climatizzazione di edifici, sia in ambito residenziale che terziario. Utilizzando, infatti, pompe di calore e sistemi di erogazione del calore “diffusi” come i pannelli radianti, è possibile utilizzare il gradiente di temperatura del terreno in pressoché tutti i siti, con la possibilità di avere una fonte di calore illimitata, e con temperatura costante durante l'anno, che, alla profondità di 20 metri, è di circa 15°C.

Il valore costante della temperatura permette di avere una fonte calda durante l'inverno (durante il quale la temperatura esterna sarà minore di quella del terreno), e fredda durante l'estate (durante la quale la situazione sarà inversa, con temperatura ambiente superiore a quella del sottosuolo).

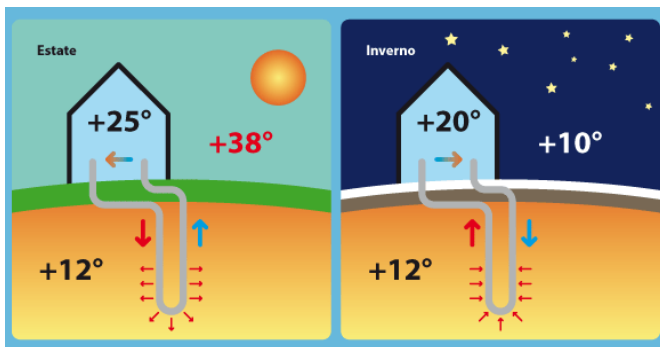


Figura 21 - situazione estiva e invernale per il sistema geotermico: la temperatura del suolo è minore dell'aria

esterna in d'estate, e maggiore durante l'inverno.

In base al terreno a disposizione, si può avere uno scambio termico più o meno consistente. I rendimenti variano da 20 W/m per sottosuoli cattivi, fino a 80 W/m per rocce ad alta conducibilità.

Il gradiente di temperatura è generalmente di 3°C ogni 100 m di profondità; inoltre è necessario considerare che maggiore è la profondità, minori sono le fluttuazioni di temperatura nello strato di terreno, come è possibile vedere nella figura.

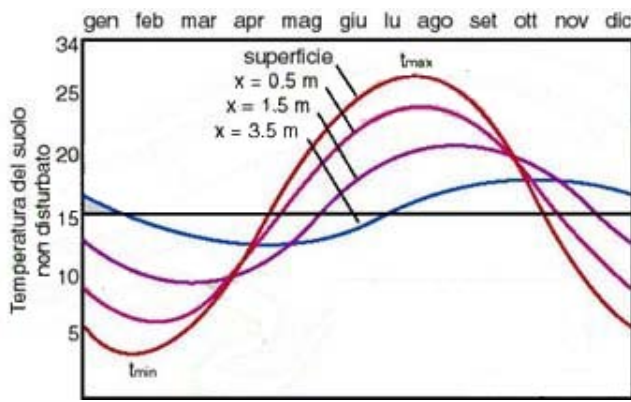


Figura 22 - Andamento della temperatura del suolo in relazione alla profondità

3.1 Il sistema geotermico

Gli elementi che compongono un impianto geotermico a bassa entalpia sono le sonde geotermiche, o geostrutture energetiche, la macchina per la climatizzazione – solitamente una pompa di calore, e il sistema di erogazione del calore.

Le geostrutture energetiche sono il cuore del sistema, perché hanno il compito di estrarre calore dal terreno e trasportarlo in superficie. A seconda dei casi applicativi, si possono avere sonde verticali, collettori orizzontali, sistemi aperti a scambio termico con falde freatiche, pali energetici (sonde inserite nei pali di fondazione dell'edificio).

La tipologia più diffusa, e probabilmente meno invasiva dal punto di vista della realizzazione dell'impianto, è quella delle sonde verticali, che prevedono la realizzazione di pozzi verticali di profondità correlata alle esigenze termiche dell'utenza.

In alcuni casi è opzionabile la soluzione a collettore orizzontale, che prevede costi minori, ma necessita di grandi superfici di installazione (circa il doppio della superficie da climatizzare).

I pali energetici sono una soluzione poco diffusa, in quanto l'integrazione dei due elementi (fondazione e sonda) può provocare problemi logistici per la manutenzione, e strutturali per eventuale decadimento delle caratteristiche meccaniche della fondazione.

Le sonde sono generalmente composte da due tubi plastici, di diametro variabile (da 20 a 40 mm), a forma di U. Le tipologie dipendono dalla resistenza e la conducibilità termica dei materiali; le sonde in metallo, tra le prime ad essere state realizzate, sono in disuso, perché eccessivamente soggette a corrosione, mentre le sonde in polietilene ad alta densità termosaldato sono le più comuni, e, in condizioni normali (16 bar e 15°C), hanno una vita utile maggiore di 100 anni, che scende a circa 10 anni con temperature superiori a 60°C. In questi casi, si preferiscono le sonde in polietilene reticolato ad alta pressione, che resistono ad un range molto più ampio di temperatura.

Per questo tipo di sonde si usa solitamente la configurazione ad U singola o doppia, preferendo molto spesso la seconda che permette di far circolare comunque calore anche in caso di occlusione parziale, e permette, inoltre, un migliore scambio termico perché il diametro del singolo tubo è minore e la superficie di scambio complessiva è maggiore.

In casi poco diffusi, si utilizza la configurazione a scambiatori coassiali, di tipo chiuso o aperto.

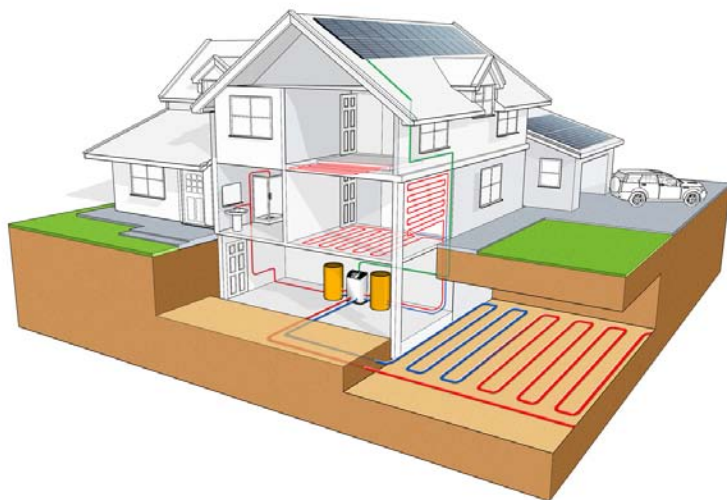


Figura 23 - Impianto geotermico a sonde orizzontali. Il sistema di distribuzione del calore prevede pannelli radianti a pavimento e parete (vedi sezione III). La generazione di energia elettrica è affidata a pannelli fotovoltaici che alimentano la pompa di calore.

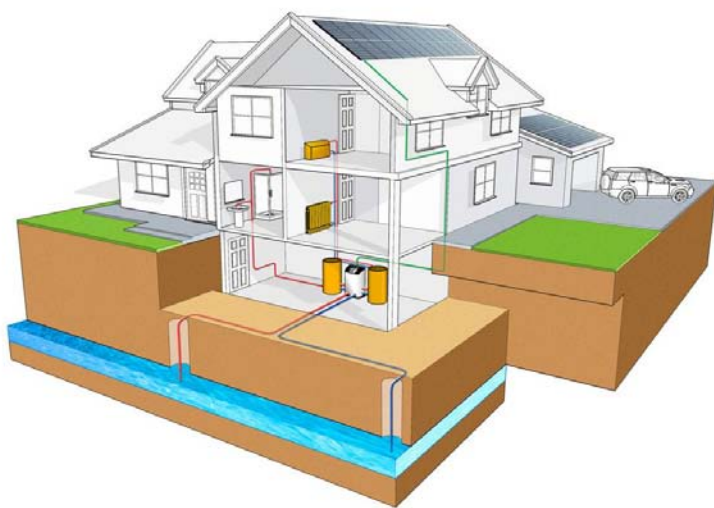
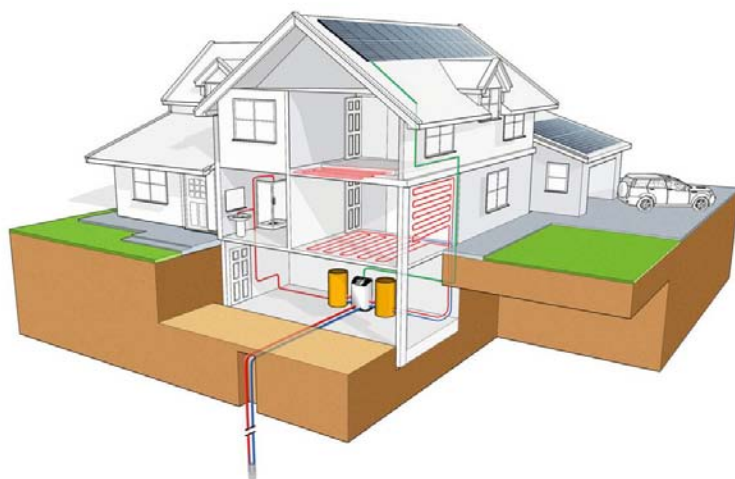


Figura 24 - a) impianto a sonde verticali b) impianto alimentato con acqua di falda

3.2 Dimensionamento delle sonde

L'apparente semplicità di un impianto geotermico è fortemente condizionata dalla realizzazione degli scavi per le geostrutture energetiche.

Le caratteristiche del terreno rappresentano il primo vincolo, e una buona progettazione pressuppone un'indagine approfondita del suolo, così da non avere problemi di perforazione.

Si aggiungono poi problematiche legate alla profondità dello scavo, che oltre un certo limite, diventa antieconomico. In base a questa considerazione, la pratica suggerisce la realizzazione di sistemi di sonde, collocati a distanza tale da evitare interferenze che comprometterebbero le prestazioni del sistema.

Per definire la quantità di sonde necessarie, è necessario conoscere i fabbisogni dell'utenza (che, nel caso di installazione contestuale alla costruzione dell'edificio, possono essere stimati tramite dati statistici o calcoli), l'andamento della temperatura del sottosuolo e la sua composizione.

3.3 Macchine per la climatizzazione

Il calore prelevato dalle sonde viene utilizzato per alimentare la macchina per la climatizzazione, di norma una pompa di calore geotermica. La pompa di calore, prelevando energia termica dal fluido, lavora in un intervallo di temperatura più piccolo rispetto al normale scambio con l'atmosfera, e per questo motivo l'efficienza del processo aumenta notevolmente. Il fluido termovettore, dopo aver effettuato lo scambio termico all'interno della pompa di calore, viene reinserito nel circolo.

3.4 Come si distribuisce il calore

Gli impianti geotermici, lavorando con temperature di poche decine di gradi centigradi, necessitano di sistemi di erogazione di calore a bassa temperatura, come i pannelli radianti a parete o pavimento.

Il classico sistema a termosifone, come sarà esposto nella sezione III, essendo un sistema puntuale, ha la necessità di temperature di mandata molto più elevate rispetto a quelle messe a disposizione da questo tipo di impianti.

4 Calore, elettricità e freddo: cogenerazione e trigenerazione

La cogenerazione, indicata anche tramite l'acronimo CHP “Combined Heat and Power”, rappresenta la produzione simultanea di energia elettrica e termica a partire da un solo combustibile (fossile o rinnovabile), in un unico sistema integrato, che, sfruttando un motore termico per la produzione di energia meccanica, utilizza il calore refluo per rendere disponibile anche energia termica. Il sistema integrato viene definito impianto cogenerativo.

La definizione di cogenerazione fa comprendere da subito come una produzione simultanea di due forme di energia immediatamente disponibili per l'utenza sia fonte di risparmio energetico e di beneficio ambientale, ed è evidente come tale tecnologia possa essere sfruttata nel comparto residenziale, in cui la richiesta di energia per la climatizzazione rappresenta una grande fetta dei consumi nazionali.

Va aggiunto inoltre che il calore generato può essere trasferito all'utilizzatore in diverse forme, che, nel caso di utenze civili, possono essere: riscaldamento, raffrescamento, produzione di acqua calda sanitaria.

Per comprendere il vantaggio derivante dall'uso di un sistema di produzione combinata, si può fare riferimento al processo termoelettrico tradizionale.

4.1 Il bilancio energetico dei sistemi cogenerativi

Prendendo come riferimento una centrale termoelettrica per la produzione di energia elettrica, e una caldaia tradizionale per la produzione di energia termica, si hanno efficienze del 40% circa per il primo processo, e del 80% per il secondo. Ciò significa che, se la quantità di combustibile immesso rappresenta il 100% dell'energia messa a disposizione per la trasformazione, un impianto termoelettrico produce solo il 40% di energia utile, e il restante 60% rappresenta perdite del sistema. Stesso discorso può essere fatto per la caldaia.

Presa come riferimento la stessa quantità di combustibile di partenza, un impianto cogenerativo permette di ottenere il 35% utile sotto forma di energia elettrica, e il 45% di energia termica, limitando le perdite al solo 20%. Facendo una proporzione, per ottenere la stessa quantità di energia elettrica e

termica tramite trasformazioni separate, è necessario utilizzare una quantità di energia 1,43 volte superiore.

Inoltre, l'efficienza dei processi separati, data dal rapporto tra energia totale prodotta e energia immessa sotto forma di combustibile, risulta solo del 55%.

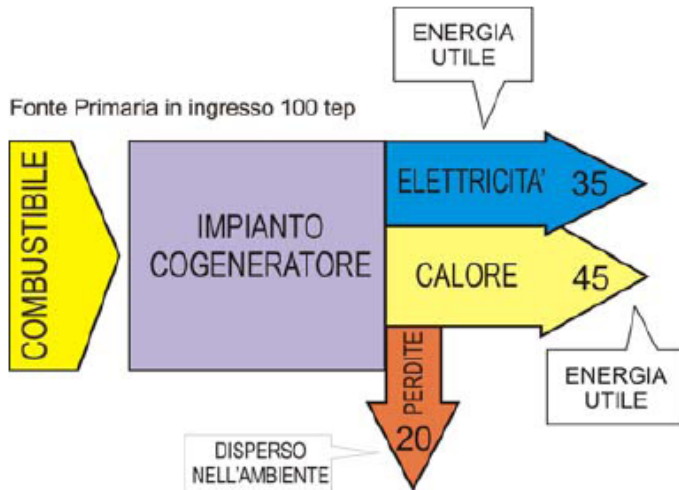


Figura 25 -: Bilancio termico per un sistema cogenerativo

4.2 Sistema e componenti

Un sistema cogenerativo è, in generale, composto da un motore termico accoppiato ad un generatore, che produce energia meccanica contestualmente trasformata in energia elettrica, e una caldaia a recupero di calore che sfrutta il calore di processo e dei fumi.

Esistono diversi tipi di motori termici utilizzati nei sistemi cogenerativi, ma, nell'ambito residenziale, in cui ci si rivolge alla piccola cogenerazione (potenza installata inferiore a 1MW) e, nella maggior parte dei casi, alla microcogenerazione (potenza inferiore a 50 kW), le tipologie più usate sono: motori alternativi a combustione interna, microturbine a gas, celle a combustibile.

Nella tabella sono riportate tutte le tipologie di motori utilizzati nella cogenerazione, e le relative taglie disponibili.

	Motori combustione interna ^a	Turbine vapore ^a	Turbine a gas	Celle combustibile ^a	Microturbine
Taglie disponibili [kW]	25÷5000	Qualsiasi	500÷25000	200÷2000	25÷100
Rendimento elettrico [%]	25÷45	30÷42	25÷40	35÷55	25÷30

Tabella 4 - Tipologie di motori usati per la cogenerazione, taglie disponibili e rendimenti elettrici associati

4.3 Applicazioni

In ambito residenziale, la cogenerazione può essere applicata ad una singola utenza o ad un gruppo di utenze.

Nel primo caso, come già detto, si parla di microcogenerazione, poiché le potenze in gioco sono molto basse, e i consumi da coprire sono contenuti. Nel secondo caso, l'impianto può essere anche di piccola cogenerazione, a seconda della dimensione dell'utenza complessiva. Qualora, infatti, si preveda un sistema di teleriscaldamento e la fornitura di energia elettrica ad un quartiere, o a un isolato, le potenze dovranno essere molto maggiori.

Ulteriore applicazione è rappresentata dalla trigenerazione, che comprende, oltre alla produzione simultanea di energia elettrica e termica, la possibilità di ottenere energia frigorifera finalizzata al raffrescamento.

La microcogenerazione

Come già detto, si parla di microcogenerazione, quando ci si riferisce a impianti con potenze inferiori a 50 kW, adatti a utenze singole o a piccoli gruppi.

L'utilità intrinseca della piccola taglia del cogeneratore sta nel fatto che non si rivela più necessario realizzare un impianto di distribuzione dell'energia prodotta, ma il consumo, come la produzione, sono completamente "in situ". Questo discorso è valido sia per l'energia termica che per quella elettrica.

Il dimensionamento deve necessariamente partire da calcoli di convenienza economica: l'energia prodotta deve essere sfruttata per intero, in modo da ottenere il minor tempo di ritorno possibile dell'investimento. E' quindi necessario analizzare i consumi dell'utenza e la loro distribuzione temporale.

In generale, l'impianto viene dimensionato sulla base dell'utenza termica: infatti, mentre l'eventuale eccesso di energia elettrica può essere immesso nella rete nazionale, l'energia termica non può essere accumulata in modo conveniente. Nel caso la potenza termica richiesta sia variabile, si può prevedere un microcogeneratore sottodimensionato, funzionante costantemente alla massima potenza (e quindi alla massima efficienza), accoppiato ad una caldaia ausiliaria necessaria a coprire i picchi di carico.

La trigenerazione

La combinazione di un sistema cogenerativo con un gruppo frigorifero permette la cosiddetta trigenerazione, che combina la produzione cogenerativa a quella di frigoriferie, fornendo quindi la possibilità di climatizzare gli ambienti anche durante la stagione calda.

Il bilancio energetico del sistema è del tipo rappresentato in figura, e prevede una produzione di energia elettrica pari circa al 38% (di cui una parte utilizzata dal sistema stesso), oltre ad una produzione di energia termica pari al 48%. Quest'ultima, addizionata ad un'ulteriore quota di calore sottratto da una sorgente fredda (esempio: aria esterna), dà la possibilità di generare calore o frigoriferie. Le perdite del sistema ammontano a circa il 15%.

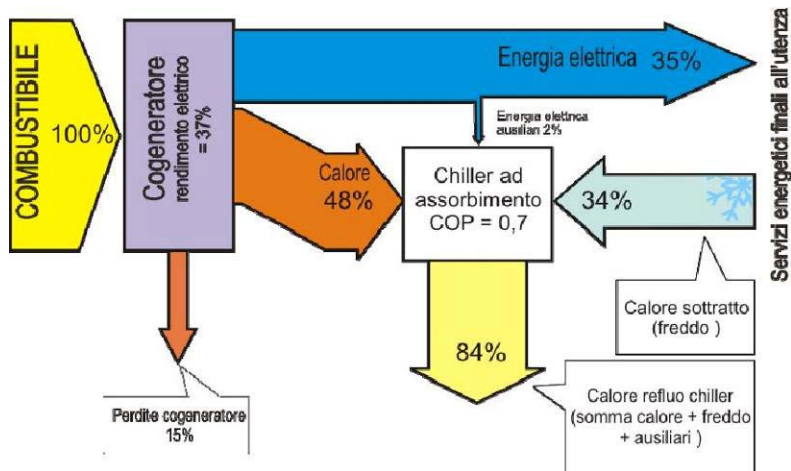


Figura 26 - Bilancio energetico ciclo trigenerativo

Per il ciclo frigorifero, va sempre considerato il parametro detto “coefficiente di prestazione” o COP (coefficient of performance), definito come rapporto fra il calore somministrato alla sorgente a temperatura più alta e il lavoro speso per attuare tale trasferimento, ovvero il rapporto tra l’energia utilizzata dal gruppo frigo per funzionare e l’energia termica sottratta all’ambiente $COP = Q_1/L$.

Il valore del COP permette di stimare la bontà di un ciclo frigorifero, e per sistemi frigoriferi comuni si ha generalmente un valore pari a 3. Nei sistemi trigenerativi tale coefficiente raggiunge solo lo 0,7, ma rimangono comunque sistemi validi perché alimentati tramite energia di recupero, quindi gratuita.

Il teleriscaldamento

La cogenerazione può essere sfruttata anche nel caso di utenze multiple, e una delle applicazioni più frequenti è sicuramente quella del teleriscaldamento, cioè una rete di trasporto del calore prodotto da una centrale, ad un sistema di utenze localizzate in una determinata area.

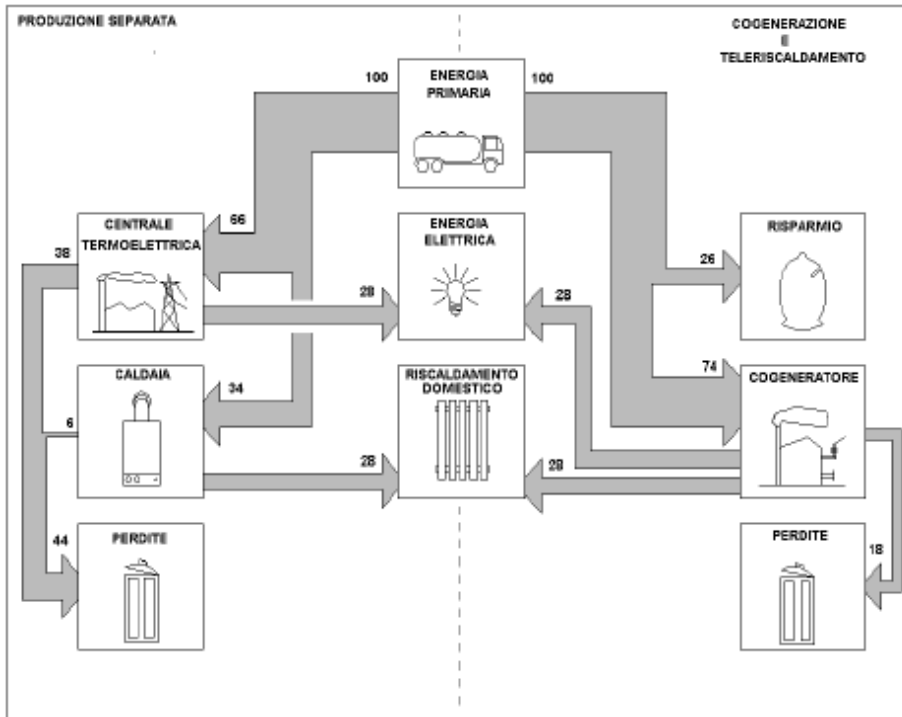


Figura 27 -: Confronto tra sistema di teleriscaldamento con sistema tradizionale di produzione, e sistema combinato cogenerazione+teleriscaldamento

Il sistema di distribuzione può utilizzare diversi tipi di fluidi: vapore, acqua calda, acqua surriscaldata o oli diatermici. La tendenza prevalente in Italia è, però, quella di utilizzare acqua calda a $80\div 90^{\circ}\text{C}$ o leggermente surriscaldata a $110\div 120^{\circ}\text{C}$.

Il sistema può essere, inoltre, di tipo diretto o indiretto. Nel primo caso si ha un unico circuito idraulico, che collega la centrale di produzione con il corpo scaldante dell'utenza finale (termosifone o piastra), mentre nel secondo caso sono presenti due circuiti separati, in contatto tra loro attraverso uno scambiatore di calore collocato nei pressi dell'utenza.

Le reti di distribuzione possono essere di tre tipi, a seconda della disposizione delle utenze e della complessità della rete stessa: ramificate, ad anello e a maglie.



Figura 28 -: a) rete ramificata, b) rete ad anello, c) rete a maglie

5 Pompe di calore

Lo sfruttamento del calore a bassa temperatura fornito da impianti solari termici, geotermici o cogenerativi di piccola taglia è possibile tramite le pompe di calore, utilizzabili sia nel caso di riscaldamento che di raffrescamento degli ambienti.

La pompa di calore è una macchina capace di trasferire calore da una sorgente a temperatura più bassa ad una a temperatura più alta tramite un apporto di energia elettrica.

In virtù di questa sua caratteristica, questo tipo di macchina è usata, in generale, per il condizionamento dell'aria, e sicuramente la tipologia più comune e diffusa negli edifici è quella che vede la pompa di calore accoppiata con il condizionatore, per consentire sia il riscaldamento che il raffrescamento dell'aria. Dovendo effettuare un trasferimento di calore da una sorgente “fredda” ad una “calda”, cioè svolgere un'operazione opposta a ciò che avverrebbe naturalmente, è intuitivo comprendere che, maggiore è la differenza di temperatura tra le due sorgenti, maggiore sarà la quantità di energia necessaria per tale operazione. Per questo motivo, disponendo di una quantità di energia termica aggiuntiva, quale quella derivante dagli impianti prima citati, sarà necessaria una quantità minore di energia elettrica, a tutto vantaggio dell'efficienza del sistema.

5.1 Tipologia delle pompe di calore

Le tipologie di pompe di calore sono diverse, ed ognuna si presta maggiormente a particolari applicazioni. Una prima classificazione può essere fatta in base alla sorgente fredda usata:

aria, prelevabile dall'esterno o da ambienti interni, a seconda delle temperature medie della zona. Qualora infatti si verificano temperature al di sotto dello zero, è necessario effettuare un defrosting, che comporta un dispendio energetico sicuramente evitabile;

acqua, salata o dolce. Negli impianti ad uso residenziale si utilizza solitamente acqua dolce, aggiunta di fluido antigelo per evitare congelamenti invernali. Particolarmente interessante è il prelievo da acque di falda, utilizzato per impianti geotermici;

terreno, nel caso di impianti geotermici.

Il pozzo caldo o fluido termovettore, ovvero l'elemento a cui viene trasferito il calore dalla sorgente fredda e che trasporta tale calore all'utenza, è rappresentato da aria o da acqua. Le combinazioni possibili di sorgente fredda e pozzo caldo sono quindi: *aria/aria*, *aria/acqua*, *acqua/acqua*, *terreno/acqua*, *terreno/aria*.

Ulteriore suddivisione è in base allo schema di funzionamento: si hanno pompe di calore a compressione di vapore, ad assorbimento, ad eiezione, ad effetto Peltier, a vortice, chimiche. Le tipologie più utilizzate e adatte al settore residenziale sono le prime due, delle quali si forniscono alcuni dettagli.

Pompe di calore a compressione di vapore

Si tratta della tecnologia più diffusa e adottata a livello commerciale.

Lo schema di funzionamento prevede quattro fasi fondamentali:

- evaporazione: sottrazione di calore dalla “sorgente fredda” attraverso uno scambiatore (evaporatore), nel quale circola un fluido frigorigeno, che possiede un punto di ebollizione molto basso. Quest'ultimo, a contatto con il mezzo circostante a temperatura più alta, evapora;
- compressione: con questa fase si aumenta di temperatura il vapore, attraverso il lavoro svolto da un motore. In questo modo, si ha la “riqualificazione” dell'energia termica, che è appena stata raccolta dalla “sorgente fredda”;
- condensazione: in questo stadio, il calore proveniente dalla sorgente fredda viene ceduto tramite un secondo scambiatore (condensatore) al sistema di riscaldamento. Questo quantitativo di energia termica si compone della componente prelevata dall'ambiente esterno freddo, maggiorato della parte corrispondente al lavoro meccanico svolto dal compressore e trasformato in calore;
- espansione: questa fase di ritorno, del fluido di processo alle condizioni iniziali, viene conseguita generalmente tramite depressurizzazione del fluido stesso (valvola di espansione).

Caratteristiche tecniche

Come si vedrà, l'efficienza delle pompe di calore è superiore all'unità. Il vantaggio della pompa di calore, infatti, deriva dalla sua capacità di fornire una quantità di energia termica maggiore di quella elettrica impiegata per il suo funzionamento (oltre al calore estratto dalla sorgente fredda, si ha un apporto dalla trasformazione di energia elettrica in lavoro con conseguente dissipazione di calore)

L'efficienza si misura attraverso il *coefficiente di prestazione* (C.O.P. Coefficient of Performance), rapporto tra energia termica utile, ceduta ad alta temperatura al “pozzo caldo” (E_u), e l'energia consumata per il funzionamento (E).

$$C.O.P. = \frac{E_u}{E}$$

Il C.O.P. sarà tanto maggiore quanto più piccolo è il ΔT tra sorgente fredda e sorgente calda; in ogni caso, affinché la pompa di calore sia efficiente, il COP deve essere maggiore di 1. I valori più comuni per le pompe di calore a compressione sono intorno a $C.O.P. = 3$, con un range che varia tra 1 e 5. Ad esempio, un valore del COP pari a 3 indica che per ogni kWh d'energia elettrica consumato, la pompa di calore renderà 3 kWh di calore.

Pompe di calore ad assorbimento

Questa tipologia d'impianto è molto interessante, perché sostituisce al compressore e, quindi, al lavoro meccanico, una “compressione termica”. Ciò si realizza sfruttando le proprietà assorbenti di alcuni fluidi allo stato liquido nei riguardi di altri fluidi allo stato di vapore.

In questo tipo di pompe di calore, il compressore viene sostituito da un'unità costituita da un assorbitore, un generatore e una piccola pompa. Lo schema di funzionamento si compone secondo il seguente procedimento: il refrigerante, dopo aver raccolto il calore nell'evaporatore, è assorbito da un fluido assorbente, mantenuto a bassa temperatura, così da avere una elevata capacità di assorbimento. La soluzione ad alta concentrazione viene, successivamente, pompata al generatore, dove il calore fornito dall'esterno porta all'evaporazione del vapore di refrigerante, ora ad una pressione più elevata rispetto a prima. Il fluido assorbente torna, invece, all'assorbitore per mezzo di una valvola laminatrice.

Le soluzioni utilizzate nella maggior parte degli impianti in commercio sono generalmente ammoniac/acqua e acqua/bromuro di litio (il primo elemento è il refrigerante), nonostante siano state prese in considerazione nel tempo diverse altre combinazioni, anche con assorbenti solidi.

In questo caso, allora, la potenza che movimenta il ciclo è, come detto, non un motore elettrico e quindi lavoro meccanico, bensì l'energia termica fornito al generatore, ma solo una parte di essa può essere estratta con profitto. Il calore estratto dall'assorbitore, infatti, può essere ad una temperatura troppo bassa per essere utilizzabile.

Caratteristiche tecniche

Nel calcolo dell'efficienza delle pompe di calore ad assorbimento, intervengono diversi fattori (temperatura del condensatore, dell'evaporatore, dell'assorbitore e del generatore) che rendono il valore finale più basso rispetto alle pompe a compressione.

Ad esempio, per una temperatura di estrazione del calore tra -10°C e $+10^{\circ}\text{C}$, si ha una efficienza di circa il 25-40% inferiore rispetto alla tipologia precedentemente analizzata. I valori più comuni di efficienza sono tra 1 e 1,8.

5.2 Applicazioni delle pompe di calore in ambito residenziale

Come già detto, l'applicazione tipica per le pompe di calore, in ambito residenziale, è la climatizzazione degli ambienti interni, unita alla produzione di acqua calda sanitaria. Si è inoltre aggiunto che tali macchine possono sfruttare il calore a bassa temperatura messo a disposizione da sistemi cogenerativi, solari termici, geotermici, e per questo motivo necessitano, per risultare convenienti, di sistemi di distribuzione del calore che operino a bassa temperatura, come ad esempio i pannelli radianti.

Gli impianti possono essere monovalenti o bivalenti: quando la pompa di calore è in grado di sopperire interamente al fabbisogno termico richiesto si parla di impianti monovalenti, mentre se si rende necessario un sistema ausiliario, si parlerà di bivalenti.

Le taglie in commercio sono moltissime: si parte dalle piccole potenze, fino a circa 2 kW, dedicate a piccoli locali, fino ad arrivare a impianti di grande potenza, oltre i 20 kW, pensate per la climatizzazione di un complesso di appartamenti, uffici, o esercizi commerciali.

Per le taglie inferiori, si hanno pompe di calore monoblocco oppure multisplit. Le prime hanno tutti i componenti raggruppati in un unico insieme, mentre le seconde sono costituite da un'unità esterna, che comprende il compressore (elemento più rumoroso) e lo scambiatore di calore, mentre le unità interne hanno la funzione di immettere aria calda o fredda, a seconda delle stagioni, all'interno degli ambienti.

5.3 Criteri di scelta e di dimensionamento dell'impianto

Le caratteristiche climatiche del sito in cui si prevede l'installazione della pompa di calore influenzano direttamente la scelta della sorgente fredda. Infatti, nelle località dove sono previste temperature prossime agli 0°C e un'umidità relativa elevata per gran parte dell'anno, si cercherà di evitare scambio termico con l'aria esterna, che comporta il problema di formazione di brina sulla superficie dello scambiatore, con conseguente decadimento delle prestazioni.

Anche le caratteristiche topologiche dell'edificio e le condizioni d'impiego possono influenzare la scelta d'impianto. In particolare, nell'ambito residenziale, se non si hanno spazi opportuni per confinare eventuali rumori, si può fare la scelta di un sistema "split", oppure, nel caso si possieda spazio nel locale caldaia, si può posizionare la pompa di calore nel medesimo vano al fine di creare un sistema bivalente.

Per quanto riguarda la scelta della potenza, poiché la capacità di raffrescamento della pompa di calore è solitamente inferiore di quella di riscaldamento, si ragiona in base alle esigenze estive, che risultano più gravose.

5.4 Pompe di calore elioassistite

La combinazione di un impianto a pompa di calore con pannelli solari termici produce ottimi risultati dal punto di vista dell'efficienza e dei consumi elettrici correlati al funzionamento dell'impianto, in virtù del fatto che la differenza di temperatura tra le due sorgenti sarà diminuita grazie all'apporto dell'energia solare.

La composizione dell'impianto prevede, in generale, i collettori solari, la pompa di calore, i sistemi di diffusione del calore, e un serbatoio di accumulo. Quest'ultimo componente permette di accumulare acqua calda così da poter sfruttare il suo calore anche in assenza di apporti solari, e fa in modo che il fluido non ritorni ai collettori a temperatura troppo elevata.

Uno schema particolarmente diffuso prevede la presenza di un serbatoio di accumulo nel quale viene inviata l'acqua riscaldata tramite collettori solari. La temperatura dell'acqua viene controllata in modo tale che, se la temperatura è sufficientemente elevata, il riscaldamento degli ambienti viene realizzato direttamente, senza necessità di azionare la pompa di calore. Se la temperatura dell'acqua è superiore di

quella dell'aria esterna, l'accumulo viene usato come sorgente fredda per la pompa; nel caso in cui, invece, la temperatura nel serbatoio sia inferiore a quella esterna, la pompa di calore attingerà all'aria esterna per compiere il suo ciclo. Nel caso poi le temperature siano troppo basse, si provvede al riscaldamento degli ambienti tramite sistemi ausiliari che vengono comunque previsti nella realizzazione di questo tipo di impianti.

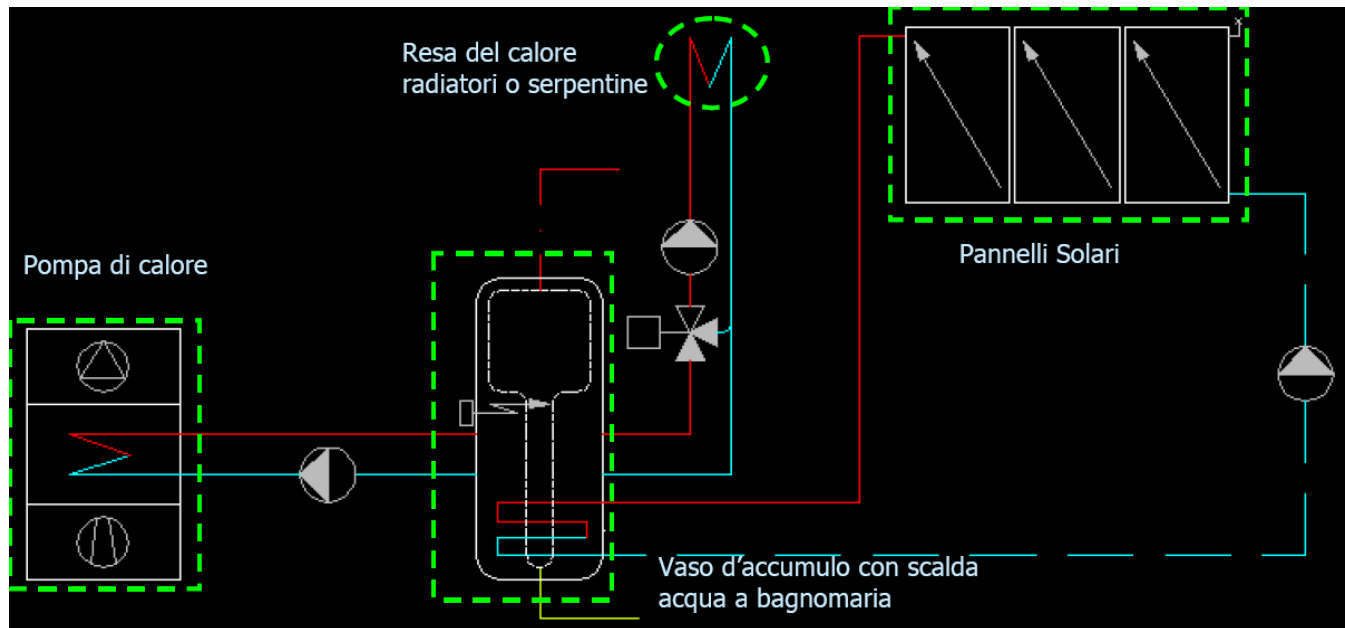


Figura 29 -: Schema di impianto a pompa di calore elioassistito

5.4 Pompa di calore geotermica per condizionamento

La pompa di calore geotermica utilizza il terreno o l'acqua che si trova nel terreno come fonte o come dispersore di calore. Il trasporto dell'energia termica è effettuato mediante la stessa acqua o mediante un liquido antigelo, eccetto nelle pompe di calore a espansione diretta, in cui si usa un fluido refrigerante che circola nello scambiatore posto nel terreno.

A differenza delle pompe di calore ad aria, quelle geotermiche possono funzionare in raffreddamento anche in modalità passiva: esse estraggono calore dall'edificio pompando nel sistema l'acqua fredda o il liquido antigelo, senza l'azione della pompa di calore vera e propria.

Il sistema di tubazioni che percorre il terreno può essere aperto o chiuso. Nel sistema aperto si estrae l'acqua da una falda sotterranea, la si porta fino allo scambiatore di calore e quindi la si scarica in un corso d'acqua, di nuovo nella medesima falda o in un bacino appositamente costruito (e che permetta la rifiltrazione verso il terreno). Nel sistema chiuso il calore è intercettato dal terreno per mezzo di una tubazione continua sotterrata, con al suo interno un fluido refrigerante (per le pompe a espansione diretta) o liquido antigelo mantenuto a bassa temperatura e pressurizzato.

Le pompe di calore geotermiche funzionanti con acqua sotterranea o a sistema aperto hanno un COP variabile da 3,6 a 5,2 e un EER tra 3,4 e 5,0; quelle con circuito chiuso hanno un COP tra 3,1 e 4,9, mentre EER tra 2,9 e 4,5.

Come nel caso delle pompe di calore ad aria, il dimensionamento si basa sulla richiesta di energia termica; non è però conveniente prevedere la copertura totale dei consumi, con il rischio di sovradimensionare il sistema. Si valuta perciò una copertura pari al 60-70% del carico massimo (dato dalla somma dell'energia termica per il riscaldamento e l'acqua calda richiesta dalle utenze), unendo un sistema ausiliario per la copertura dei picchi di richiesta. In questo modo, la pompa di calore fornisce circa il 95% dell'energia termica utilizzata dall'utenza.

La necessità di acqua dal terreno per una pompa di 10 kW è tra 0,45 l/s e 0,75 l/s.

ALLEGATI

SEZIONE II

ALLEGATO1 : LA CERTIFICAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

ALLEGATO 2 : LA CERTIFICAZIONE ITACA E LEED

ALLEGATO 3 : FINESTRE- SISTEMI A SINGOLO E DOPPIO STRATO

La certificazione energetica degli edifici, i D. Lgs. 192/05 e 311/06

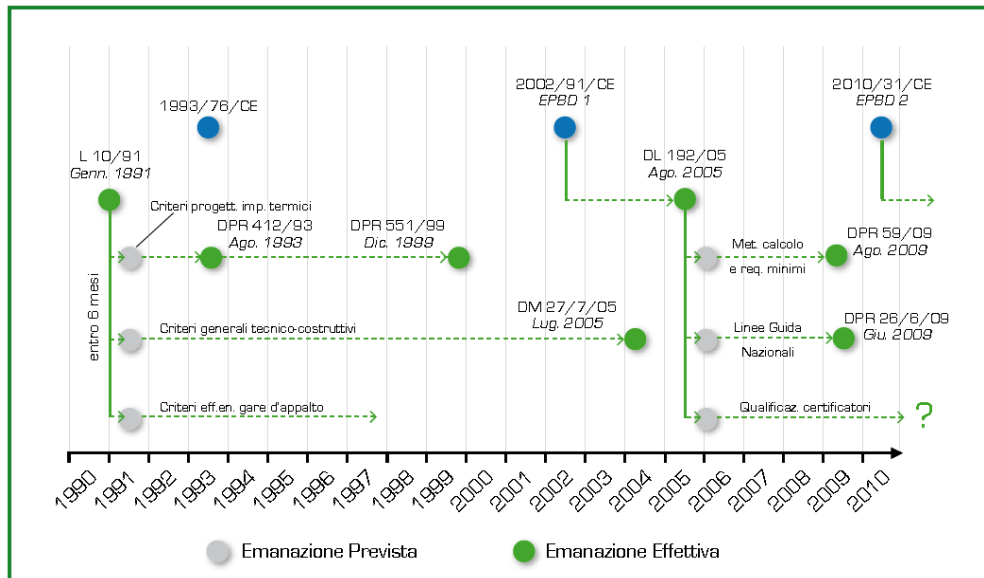
Il quadro legislativo

La riduzione dei consumi di energia e di emissioni sono gli obiettivi alla base della direttiva sulla certificazione energetica degli edifici. La certificazione energetica degli edifici introdotta dalla *Direttiva 2002/91/CE* deve essere intesa soprattutto come uno strumento di trasformazione del mercato immobiliare: attraverso un sistema simile a quello adottato con successo per gli elettrodomestici, mira a sensibilizzare gli utenti sugli aspetti energetici all'atto della scelta dell'immobile. Il processo dovrebbe inoltre portare ad una migliore conoscenza dei consumi energetici nei settori residenziale e terziario, che continuano a trainare la domanda di energia nel nostro Paese, consentendo al legislatore di intervenire con maggiore efficacia. Già la *Legge 9 gennaio 1991, n.10* contemplava aspetti di certificazione energetica edilizia, il cui recepimento attraverso apposito decreto attuativo è stato inutilmente atteso per anni. Successivamente il *D. Lgs. 31 marzo 1998, n.112*, in particolare l'art.30, aveva trasferito alle Regioni (alcune delle quali hanno adottato un proprio schema) le competenze amministrative sulla certificazione energetica degli edifici. Il recepimento della *Direttiva 2002/91/CE* è avvenuto nel nostro Paese con il *D. Lgs. n. 192 del 19 agosto 2005*, che è stato corretto e integrato dal *D. Lgs. n. 311 del 29 dicembre 2006*. La Finanziaria 2008 ha "ribadito" che, come già espresso dal D.Lgs 192/05, dal 2009 il permesso di costruzione deve essere subordinato alla certificazione edilizia e che, per le nuove costruzioni, il rilascio del certificato di agibilità al permesso di costruire è subordinato alla presentazione della medesima.

Il 19 Maggio 2010 l'Unione Europea ha emanato la *Direttiva 2010/31/CE* che ha rivisto e abrogato la *Direttiva 2002/91/CE*. Le tempistiche di recepimento fissano al 9 luglio 2012 l'obbligo di adozione e pubblicazione, e al periodo tra Gennaio e Luglio 2013 l'obbligo di applicazione delle disposizioni riguardanti la metodologia di calcolo, la certificazione della prestazione energetica, il sistema di controllo indipendente, i requisiti di prestazione energetica e le ispezioni di caldaie e impianti di condizionamento d'aria.

Il *D.Lgs. n. 112/08*, e la *legge di conversione 6 agosto 2008, n. 133*, recante: "Disposizioni urgenti per lo sviluppo economico, semplificazione, la competitività, la stabilizzazione della finanza pubblica perequazione tributaria" ha cancellato l'obbligo di allegare la certificazione energetica agli atti di compravendita e locazione (abrogate anche le sanzioni). L'ultimo comma dell'articolo 35 abroga i commi 3 e 4 articolo 6 del *D.Lgs. 192/05* (come modificati dal *D.Lgs. 311/06*) che riguardavano l'obbligo di allegare l'attestato di certificazione energetica nel caso di:

- trasferimento a titolo oneroso di interi immobili o di singole unità immobiliari
- locazione di interi immobili o di singole unità immobiliari



Rimane, comunque, l'obbligatorietà di produrre tale documento e consegnarlo al compratore o al locatario.

La figura seguente raffronta lo scenario normativo atteso, conseguenza di quanto stabilito nei provvedimenti, con quello che invece concretamente si è andato a realizzare.

Le linee guida nazionali

Uno dei punti di debolezza dei decreti legislativi citati è rappresentato dalla previsione di vari decreti attuativi, cui si aggiunge la libera iniziativa delle Regioni. L'uscita delle Linee Guida nazionali avvenuta con il *D.M. 26 giugno 2009*, consentirà di rendere operativo il dispositivo anche in assenza di provvedimenti Regionali. In precedenza è stato emanato il *D.P.R. 2 aprile 2009 n.59*, regolamento di attuazione dell'art. 4, c. 1 lettere a) e b), del *D.Lgs. 192/05*, che definisce le metodologie di calcolo e i requisiti minimi per la prestazione energetica degli edifici e degli impianti termici. L'ultimo disposto legislativo mancante per completare le linee guida alla certificazione è quello relativo ai soggetti certificatori. Ma già il *D.Lgs. 115/08* nell'*Allegato III* definisce chi sono i soggetti abilitati alla certificazione energetica degli edifici.

La *Direttiva 2002/91/CE* non indica un procedimento unico per la certificazione, lasciando libertà di scelta ai paesi membri. Ciò, se da un lato permette di tenere conto delle peculiarità delle diverse

aree nella predisposizione delle linee guida, dall'altro rende difficile trovare quell'uniformità che consentirebbe un confronto a livello comunitario (e forse anche nazionale) delle prestazioni degli edifici.

A tale proposito, è ormai opinione comune il considerare una certificazione semplificata che suddivida in classi di efficienza energetica gli immobili (simile a quella utilizzata per gli elettrodomestici) e che utilizzi un descrittore espresso in kWh/(m²anno) come rapporto tra il fabbisogno annuo di energia e la superficie utile dell'unità immobiliare (per superficie utile si intende quella netta calpestabile di un edificio come riportata nelle definizioni dell'*Allegato A* del D. Lgs. 311/06). Risulta utile segnalare la partecipazione di alcuni paesi europei al progetto internazionale IMPACT (IMproving energy Performance Assessment and Certification schemes by Tests) il cui obiettivo è quello di collaudare dei sistemi di certificazione degli edifici per riuscire a determinare delle utili raccomandazioni nel campo della certificazione.

Norme tecniche di riferimento in base a quanto riportato del D.M. del 26 giugno 2006	
<i>Norme quadro di riferimento nazionale</i>	
UNI/TS 11300 - 1	Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale
UNI/TS 11300 - 2	Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria
UNI/TS 11300 - 3	Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva
UNI/TS 11300 - 4	Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per il riscaldamento di ambienti e la preparazione di acqua calda sanitaria
<i>Norme per la determinazione della prestazione energetica del sistema edificio-impianto</i>	
UNI EN ISO 13790	Prestazione energetica degli edifici - calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento
<i>Norme per la caratterizzazione dell'involucro</i>	
UNI EN ISO 6946	Componenti ed elementi per edilizia - resistenza termica e trasmittanza - metodo di calcolo
UNI EN ISO 10077 - 1	Prestazione termica di finestre, porte e chiusure oscuranti - calcolo della trasmittanza termica
UNI EN ISO 10077 - 2	Prestazione termica di finestre, porte e chiusure - calcolo della trasmittanza termica - metodo numerico per i telai
UNI EN ISO 13786	Prestazione termica dei componenti per l'edilizia - caratteristiche termodinamiche - metodo di calcolo
UNI EN ISO 13789	Prestazione termica degli edifici - coefficienti di trasferimento del calore per trasmissione e ventilazione - metodo di calcolo
UNI EN ISO 13370	Prestazione termica degli edifici - trasferimento di calore attraverso il terreno - metodo di calcolo
UNI EN ISO 10211	Ponti termici in edilizia - flussi termici e temperature superficiali - calcoli dettagliati
UNI EN ISO 14683	Ponti termici in edilizia - coefficiente di trasmissione termica lineica - metodi semplificati e valori di riferimento
UNI EN ISO 13788	Prestazione igrometrica dei componenti e degli elementi per edilizia - temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e condensazione interstiziale - metodo di calcolo
UNI EN ISO 13363	Dispositivi di protezione solare in combinazione con vetrate - calcolo della trasmittanza solare e luminosa - 1. Metodo semplificato - 2. Metodo di calcolo dettagliato
UNI 11235	Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione, il controllo e la manutenzione di coperture a verde
<i>Norme per la ventilazione</i>	
UNI 10339	Impianti aeraulici a fini di benessere - generalità, classificazione e requisiti - regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura
UNI EN 13779	Ventilazione degli edifici non residenziali - requisiti di prestazione per i sistemi di ventilazione e di climatizzazione
UNI EN 15242	Ventilazione degli edifici - metodo di calcolo per la determinazione delle portate d'aria negli edifici, comprese le infiltrazioni

<i>Banche dati e norme di supporto</i>	
UNI 10349	Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - dati climatici
UNI 10351	Materiali da costruzione - conduttività termica e permeabilità al vapore
UNI 10355	Murature e solai - valori di resistenza termica e metodo di calcolo
UNI EN 410	Vetro per edilizia - determinazione delle caratteristiche luminose e solari delle vetrate
UNI EN 673	Vetro per edilizia - determinazione della trasmittanza termica (valore U) - metodo di calcolo
UNI EN ISO 7345	Isolamento termico - grandezze fisiche e definizioni
UNI 8065	Trattamento dell'acqua negli impianti termici ad uso civile
UNI EN 303 - 5	Caldaie per riscaldamento - caldaie per combustibili solidi, con alimentazione manuale e automatica, con una potenza termica nominale fino a 300 kW - terminologia, requisiti, prove e marcatura

Quadro temporale della normativa italiana sulla riduzione dei consumi degli edifici

Esperienze italiane

Il primo caso riguarda l'iniziativa della provincia autonoma di Bolzano, che ha istituito un sistema di certificazione energetica di tipo volontario che prevede l'assegnazione del marchio "CASACLIMA". Esso rappresenta il primo sistema di certificazione istituito in Italia, antecedente al *D.Lgs. 192/05*, che tiene però conto della qualità dell'involucro edilizio e non considera il tipo di impianto termico.

In seguito all'emanazione del *D.Lgs. 192/05* e in attesa dei decreti attuativi molte Regioni, avvalendosi dei poteri concessi dalla riforma del *Titolo V* della Costituzione, hanno legiferato in materia energetica. Tra queste Friuli Venezia Giulia, Lazio, Molise, Puglia, Toscana, Umbria e Veneto.

Le regioni che hanno pubblicato proprie linee guida sono Emilia Romagna, Lombardia, Liguria, Marche, Piemonte e Valle d'Aosta.

La progettazione degli edifici

La progettazione degli edifici è senza dubbio il tema centrale e l'ambito fondamentale di intervento per promuovere l'applicazione dell'edilizia sostenibile.

La particolarità e difficoltà, quando si progetta e costruisce un edificio con l'obiettivo della sostenibilità ambientale, è di avere come oggetto un elemento centrale e nodale tra la scala territoriale e la scala del componente edilizio. Nella progettazione e costruzione di un edificio occorre infatti confrontarsi con il contesto, con le relazioni urbane, con il clima, quindi operare un controllo degli aspetti macroambientali. Nello stesso tempo, occorre scegliere i materiali, le tecnologie costruttive e verificare la qualità indoor: quindi operare un controllo degli aspetti micro ambientali (Life Cycle Assessment - LCA).

Data la complessità di questo approccio progettuale, il settore edilizio ha da tempo manifestato l'esigenza di avere a disposizione strumenti di supporto alla progettazione ambientale e di valutazione dell'edificio progettato. La risposta a queste esigenze è stata soddisfatta, in questi anni, tramite percorsi vicini a una impostazione "progettante". Si sono andati definendo, in maniera prima spontanea, poi sempre più formalizzata, requisiti e criteri progettuali orientati alla sostenibilità (risparmio energetico, risparmio e recupero dell'acqua, riciclaggio dei materiali), che hanno poi portato alla costruzione di veri e propri framework di criteri progettuali.

A partire da questi "elenchi" di requisiti sono quindi nati strumenti di valutazione multicriteriali, definiti "sistemi a punteggio" (LEED, Itaca, ecc.), che associano a tali criteri un punteggio di merito, in base al grado di soddisfazione del requisito verificato tramite indicatori. Gli strumenti di valutazione a punteggio hanno costituito una risposta "semplice", accessibile e facilmente diffondibile, adatta alle esigenze del mercato e degli operatori di settore.

A livello internazionale, l'elaborazione dei sistemi a punteggio è nata per sollecitazione dei costruttori, che hanno manifestato l'esigenza di "certificare" la realizzazione di edifici ad alte prestazioni energetiche e a basso impatto ambientale, sulla base di riferimenti consolidati e con l'avallo di strutture di riferimento affidabili: il BREEAM e il LEED, che sono gli unici veri e propri sistemi di certificazione ambientale degli edifici, hanno riscontrato un notevole successo proprio dal mercato.

Anche gli utenti finali, e soprattutto i grandi investitori immobiliari, hanno manifestato l'esigenza di

strumenti di garanzia della qualità degli edifici acquistati. La costante crescita del costo dell'energia, peraltro, ha favorito la spinta verso edifici sempre più efficienti, quindi di gestione meno costosa, a fronte di un investimento iniziale lievemente superiore.

Un elemento importante per l'effettiva applicazione di questo metodo di valutazione, così come, più in generale, di criteri di edilizia sostenibile nella progettazione e costruzione degli edifici, è dato dal recepimento di tali metodi e criteri nell'ambito dei Regolamenti Edilizi degli Enti locali.

Il protocollo di sostenibilità ambientale ITACA

Con la costituzione di uno specifico gruppo di lavoro, nel 2001, ITACA (Istituto per l'Innovazione e Trasparenza degli Appalti e la Compatibilità Ambientale) ha avviato un confronto tra le regioni italiane per la formulazione di una serie di regole condivise con le quali poter definire le soglie ed i requisiti necessari per la predisposizione di progetti con caratteristiche di bioedilizia.

Il Protocollo ITACA è basato sulla metodologia SBMethod messa a disposizione da iiSBE Italia che, insieme a ITC-CNR e ITACA, gestisce il Protocollo ITACA a livello nazionale. Attualmente sono presenti una serie di versioni regionali tra le quali quelle di Piemonte, Liguria, Toscana, Marche, Lazio, Veneto (Biover), Friuli-Venezia Giulia (VEA), Puglia e Umbria.

Il protocollo Itaca, approvato nel 2004, è uno strumento di valutazione per effettuare l'analisi e valutazione di sostenibilità ambientale di edifici di nuova costruzione o oggetto di ristrutturazione con destinazione d'uso sia residenziale che d'ufficio. L'ultima versione è stata approvata dal consiglio direttivo il 21 aprile 2011.

Lo studio segue il principio di *abbinare ad ogni criterio di valutazione prestazionale un punteggio in funzione del risultato ottenuto*, volta per volta confrontato con apposite griglie. Vengono esaminate le schede criterio, per poi sommare tutti i giudizi numerici pesati sui rispettivi coefficienti. Il valore che se ne trae è un *parametro che stima la sostenibilità ambientale che ruota intorno all'edificio*, a partire dalle sue insite caratteristiche costruttive sino alla quantificazione annua della produzione di CO₂ prodotta durante l'esercizio, o ancora dalla disponibilità di servizi energetici e sociali alla gestione dei rifiuti organici e inorganici, solidi e liquidi. Maggiore è il valore trovato a fine analisi, maggiore sarà il punteggio ottenuto dall'edificio e di conseguenza minore sarà il suo impatto sull'ambiente circostante, inteso come patrimonio sia naturale che sociale. E' quindi ben delineato il carattere generale, ma esplicito e particolareggiato, con cui il protocollo affronta la valutazione.

La disponibilità di un elenco generale dei criteri unito alle schede relative, in cui viene evidenziata una linea guida del processo di calcolo, semplifica notevolmente la gestione di una enorme quantità di dati.

La valutazione avviene tramite cinque gruppi di schede:

➤ *Qualità del sito*, la cui esigenza è di favorire:

- Riutilizzo del territorio, come aree contaminate, dismesse o precedentemente antropizzate;
- Accessibilità al trasporto pubblico, in modo da ridurre l'uso di veicoli privati;
- Mix funzionale dell'area, come distanze e copertura di servizi ad uso quotidiano;
- Adiacenza ad infrastrutture, per ridurre la realizzazione di nuovi allacciamenti (acquedotto, rete elettrica, gas, fogntura);
- Aree esterne di uso comune attrezzate, di pertinenza dell'edificio;
- Supporto all'uso di biciclette, posteggi e piste ciclabili.

➤ *Consumo di risorse*, che comprende:

- Riduzione dell'energia primaria per il riscaldamento (E_{Pi} e $E_{Pi,L}$) e per la produzione di acqua calda sanitaria ACS (EP_{acs});
- Incremento dell'energia elettrica prodotta in loco da fonti rinnovabili;
- Utilizzo di materiali eco-compatibili, riciclati o recuperati, prodotti in loco, riciclabili o smontabili;
- Riduzione dei consumi di acqua potabile per irrigazione e per usi diversi dal fine primario;
- Riduzione del fabbisogno energetico per il raffrescamento, ottimizzando soluzioni costruttive ed architettoniche;
- Riduzione dello scambio termico per trasmissione, abbattendo il valore di trasmittanza termica dell'involucro edilizio;
- Controllo della radiazione solare, limitando apporti indesiderati nel periodo estivo;
- Gestione ad hoc dell'inerzia termica dell'edificio.

➤ *Carichi ambientali*, tra cui:

- Riduzione delle emissioni di CO₂ equivalente da energia primaria non rinnovabile impiegata per l'esercizio annuale dell'edificio;

- Raccolta differenziata di rifiuti solidi, con apposite aree di facile accesso;
 - Riduzione delle acque reflue, minimizzando la quantità di effluenti scaricati in fognatura e l'interruzione e inquinamento di flussi naturali di acqua;
 - Riduzione dell'impatto sull'ambiente circostante, minimizzando l'effetto "isola di calore".
- *Qualità dell'ambiente indoor*, poiché il benessere dell'ambiente costruito è parte anche esso della sostenibilità:
- Garantire una corretta ventilazione, elevato grado di salubrità dell'aria gestendo al meglio i consumi energetici per la climatizzazione;
 - Mantenere un livello soddisfacente di confort termoigrometrico nel periodo estivo;
 - Assicurare un adeguato livello di illuminazione naturale;
 - Proteggere da rumori esterni ed interni all'edificio;
 - Minimizzare il livello dei campi elettrici e magnetici a frequenza industriale di 50Hz.
- *Qualità del servizio*, per permettere la perfetta funzionalità del sistema:
- Ottimizzare la gestione energetica con l'integrazione di sistemi domotici;
 - Permettere la trasmissione di dati all'interno dell'edificio per plurime finalità;
 - Assicurare il mantenimento delle prestazioni dell'involucro edilizio e la disponibilità della documentazione tecnica dell'edificio.

L'edilizia sostenibile, come descritto dal team ITACA, deve seguire un decalogo di regole, priorità strategiche con le quali attivare una serie di processi ed azioni rivolte al raggiungimento di obiettivi specifici per l'edilizia sostenibile.

I dieci principi sono stati raggruppati in *tre principali aree d'intervento*.

La prima area (principi 1-3) riguarda il “**contesto dell'abitare**”; **la seconda** (principi 4-6) il “**manufatto edilizio**”; **la terza** (principi 7-9) investe più propriamente “**l'utilizzo del manufatto**” stesso. Il decimo principio si riferisce alla necessaria azione per la “diffusione dei principi” e dei criteri finalizzati ad una nuova e diversa cultura del progetto.

Ogni principio dovrebbe essere accompagnato dall'individuazione dei principali obiettivi che si intendono raggiungere attraverso scelte condivise e consapevoli.

1. Ricercare uno sviluppo armonioso e sostenibile del territorio, dell'ambiente urbano e dell'intervento edilizio
2. Tutelare l'identità storica delle città e favorire il mantenimento dei caratteri storici e tipologici legati alla tradizione degli edifici
3. Contribuire, con azioni e misure, al risparmio energetico e all'utilizzo di fonti rinnovabili
4. Costruire in modo sicuro e salubre
5. Ricercare e applicare tecnologie edilizie sostenibili sotto il profilo ambientale, economico e sociale
6. Utilizzare materiali di qualità certificata ed eco-compatibili
7. Progettare soluzioni differenziate per rispondere alle diverse richieste di qualità dell'abitare
8. Garantire gli aspetti di "Safety" e di "Security" dell'edificio
9. Applicare la domotica per lo sviluppo di una nuova qualità dell'abitare
10. Promuovere la formazione professionale, la progettazione partecipata e l'assunzione di scelte consapevoli nell'attività edilizia



Il sistema di certificazione di sostenibilità ambientale LEED - Leadership in Energy and Environmental Design

Sebbene in Italia sia preso come riferimento il Protocollo Itaca, le cui versioni regionali sono state già formulate o si trovano comunque in fase di formulazione, molti costruttori, al fine di fornire una maggiore garanzia di sostenibilità, adottano anche il sistema di valutazione LEED, il quale, data la sua natura fortemente commerciale, fornisce una solida base di marketing nella compravendita dell'edificio sostenibile.

Utilizzando tecnologie di provata validità, LEED valuta le prestazioni ambientali degli edifici da un punto di vista complessivo durante il loro ciclo di vita, attraverso uno standard di riferimento completo che definisce che cosa è un edificio sostenibile sia durante la fase di progettazione, che durante la costruzione e l'esercizio. Il sistema di valutazione è organizzato in sei categorie ambientali:

➤ *Sostenibilità del Sito:*

- Prevenzione dell'inquinamento da attività di cantiere;

- Selezione del sito, densità edilizia e vicinanza ai servizi;
- Recupero e riqualificazione dei siti contaminati;
- Trasporti pubblici, biciclette, veicoli a basso impatto ambientale, aree di parcheggio;
- Sviluppo del sito, protezione e ripristino habitat;
- Controllo quantità e qualità delle acque meteoriche;
- Effetto isola di calore;
- Riduzione inquinamento luminoso;
- *Gestione delle Acque:*
 - Riduzione uso dell'acqua;
 - Gestione efficiente delle acque a scopo irriguo;
 - Tecnologie innovative per le acque reflue;
- *Energia e Atmosfera:*
 - Commissioning dei sistemi energetici dell'edificio;
 - Prestazioni energetiche minime;
 - Gestione dei fluidi refrigeranti;
 - Ottimizzazione delle prestazioni energetiche dell'edificio;
 - Produzione in sito di energia rinnovabile;
 - Misure e collaudi;
 - Energia verde;
- *Materiali e Risorse:*
 - Raccolta e stoccaggio di materiali riciclabili;
 - Riutilizzo di edifici, come mantenimento di murature, solai e coperture;
 - Gestione dei rifiuti da costruzione;
 - Riutilizzo dei materiali;
 - Materiali estratti, lavorati e prodotti a distanza limitata (regionali);
 - Materiali rapidamente rinnovabili;
 - Legno certificato;
- *Qualità ambientale interna:*
 - Prestazioni minime per la qualità dell'aria;
 - Controllo ambientale del fumo di tabacco;
 - Monitoraggio della portata d'aria di rinnovo e incremento della ventilazione;
 - Piano di gestione IAQ (Indoor Air Quality);

- Materiali basso emissivi, come adesivi, sigillanti, materiali cementizi, finiture per legno, pitture, pavimentazioni, legno composito e fibre vegetali;
- Controllo delle fonti chimiche ed inquinanti interne;
- Controllo e gestione di illuminazione e impianto di confort termico;
- Gestione della luce naturale

➤ *Innovazione nella progettazione:*

- Prestazioni esemplari o innovative rispetto ai requisiti LEED

L'attribuzione di punteggio (credito) ad ogni criterio e quindi alle singole categorie è funzione, ad esempio, di emissioni di gas serra, uso di combustibili fossili, agenti tossici e cancerogeni, inquinamento dell'aria e dell'acqua, condizioni dell'ambiente interno. La somma dei punteggi ottenuti in ogni categoria esprime il livello qualitativo sociale ed ecosostenibile dell'edificio.

GCB Italia

Il Green Building Council Italia è un'associazione no profit che fa parte della rete internazionale dei GBC presenti in molti altri paesi; è membro del World GBC e partner di USGBC. Con queste associazioni condivide gli obiettivi di:

- favorire e accelerare la diffusione di una cultura dell'edilizia sostenibile, guidando la trasformazione del mercato
- sensibilizzare l'opinione pubblica e le istituzioni sull'impatto che le modalità di progettazione e costruzione degli edifici hanno sulla qualità della vita dei cittadini
- fornire parametri di riferimento chiari agli operatori del settore
- incentivare il confronto tra gli operatori del settore creando una community dell'edilizia sostenibile



Grazie a un accordo di partenariato con USGBC, GBC Italia ha adattato alla realtà italiana e promosso il sistema di certificazione indipendente LEED – Leadership in Energy and Environmental Design – i cui parametri stabiliscono precisi criteri di progettazione e realizzazione di edifici salubri, energeticamente efficienti e a impatto ambientale contenuto.

GBC Italia promuove un processo di trasformazione del mercato edile italiano: il sistema di certificazione legato al marchio LEED stabilisce, infatti, un valore di mercato per i “green building”, stimola la competizione tra le imprese sul tema delle performances ambientali degli edifici e incoraggia comportamenti di consumo consapevole anche tra gli utenti finali.

GBC Italia è un'organizzazione in grado di mettere in rete le più competitive imprese italiane e internazionali operanti nel segmento dell'edilizia sostenibile e di facilitare il dialogo tra le comunità professionali più qualificate.

Il movimento internazionale dei GBC risale agli anni '90. Giappone, Stati Uniti (1993), Canada, Australia, Spagna danno vita nel 1998 al World GBC. Un ruolo di particolare rilievo viene a ricoprire nel tempo il GBC americano (United States Green Building Council. USGBC). Il sistema di rating LEED infatti, conosce mano a mano una progressiva diffusione internazionale, con progetti registrati in più di 140 paesi. I protocolli LEED, di fatto, si sono imposti come sistema universalmente accettato e compreso per la certificazione di edifici progettati, costruiti e gestiti in maniera sostenibile ed efficiente. Chiunque nel mondo si occupi di edilizia sostenibile comunica con il linguaggio del sistema LEED.

GBC Italia viene costituito il 28 gennaio 2008, su iniziativa del Distretto Tecnologico Trentino S.c.a.r.l. insieme a 47 soci fondatori. La sede è a Rovereto (TN). La costituzione di GBC Italia da parte della comunità trentina è un ulteriore prodotto di una vocazione ambientale della società, delle imprese e delle istituzioni che si è concretizzata in numerose iniziative della Provincia autonoma di Trento, tra cui appunto il progetto del Distretto Tecnologico Energia Ambiente, che ha preso il nome di Habitech.

Nato dall'iniziativa di un territorio, dotato di politiche ambientali innovatrici, GBC Italia si connota come iniziativa di carattere nazionale, aperta all'adesione e al contributo degli operatori, delle imprese e delle regioni italiane. È proprio all'interno di un panorama nazionale e internazionale che il progetto trova, infatti, la propria dimensione di reale efficacia, proponendosi come interlocutore autorevole, in grado di integrare in una proposta unitaria e organica le diverse realtà imprenditoriali e i programmi d'intervento locale, impegnati sul fronte dell'edilizia sostenibile.

La principale attività di GBC Italia è quella dell'adattamento dei sistemi di rating della famiglia LEED alla realtà italiana. Attraverso il lavoro dei gruppi di sezione del Comitato Standard e del Comitato Tecnico Scientifico, ha trasposto lo standard facendo riferimento alle normative italiane ed europee per adattarlo al contesto culturale locale. LEED Italia diventa, quindi, il primo caso di "localizzazione" approvata da USGBC poiché fortemente legato alla realtà costruttiva, normativa e produttiva italiana.

Il progetto GBC Italia è un sistema articolato, che accanto alle attività legate alle procedure di certificazione LEED, intende favorire lo sviluppo di una vera e propria "filiera della conoscenza": un impegno di ampio respiro, per fornire chiavi di interpretazione e strumenti concettuali nuovi, in grado di innovare la cultura del costruire e fare largo ad una sensibilità diffusa, attorno al tema della sostenibilità.

Il mercato della certificazione LEED

Per comprendere il giro d'affari che ruota attorno al segmento di mercato delle costruzioni, può essere utile fare riferimento alla realtà degli Stati Uniti, in cui il settore edile rappresenta il 14% del Prodotto Interno Lordo.

All'interno di questo considerevole ambito produttivo, le prospettive di business per le aziende che si occupano nello specifico di edilizia sostenibile sono assai interessanti. Secondo le stime di USGBC, negli Stati Uniti, nel 2007 il settore del Green Building ha generato un volume d'affari superiore ai 12 miliardi di dollari.

Anche in Italia il mercato dell'edilizia nel suo insieme rappresenta una percentuale del PIL analoga a quella americana (negli ultimi anni, tra il 13,5 e il 14,5%).

Riveste, dunque, un'importanza strategica, per il sistema delle imprese italiano, la possibilità di colloquiare con i diversi Green Building Council nazionali all'interno di un orizzonte di riferimento comune e attraverso il "linguaggio" condiviso dei parametri LEED.

La visibilità stessa del logo GBC Italia e del marchio LEED®, sempre più noti non solo tra gli addetti ai lavori, costituiscono un'opportunità per entrare in un network dell'edilizia sostenibile, che sta acquisendo un respiro sempre più internazionale.

Per le imprese, l'appartenenza a GBC Italia rappresenterà una credenziale di autorevolezza agli occhi dell'utente finale – dal singolo cittadino, alla società privata, all'ente pubblico – che riconoscerà, nel logo del "Green Building Council Italia", una garanzia di indipendenza nel segno di un movimento sovranazionale.

Sistemi a singolo strato

I sistemi a singolo strato sono caratterizzati dall'utilizzo di una sola superficie di involucro, nella quale, per garantire un adeguato livello di isolamento termico e/o di controllo solare, è possibile applicare rivestimenti selettivi alle lastre in grado di filtrare - per assorbimento e riflessione verso l'interno (rivestimenti a bassa emissività o low-E) o verso l'esterno (rivestimenti a controllo solare) - la componente infrarossa della radiazione incidente, pur trasmettendo le radiazioni con lunghezza d'onda nel campo del visibile.

Poiché tali rivestimenti riflettono la radiazione infrarossa in modo simmetrico all'esterno e all'interno dell'edificio, si può avere un aumento del surriscaldamento interno durante i mesi estivi (low-E) o una diminuzione dei guadagni solari durante la stagione fredda (controllo solare), insieme ad una frequente riduzione generale del livello di illuminazione naturale all'interno degli ambienti.

Per questa ragione è necessario utilizzare ulteriori protezioni fisse o mobili, che possono modulare l'incidenza della radiazione solare sull'involucro.

Il posizionamento di un sistema di schermatura all'esterno dell'involucro consente al calore risultante dalla reirradiazione dello stesso dispositivo schermante (detto calore sensibile) di rimanere all'esterno, non incrementando quindi i carichi termici interni. Un tipico valore di g per un involucro con schermature esterne è oggi del 10%. Uno svantaggio è rappresentato dall'esposizione agli agenti atmosferici, che può comportare elevati costi di pulizia e manutenzione.

I dispositivi di protezione solare esterni possono essere fissi come pensiline e brise-soleil, oppure mobili, come le tende in tessuto ed i sistemi di schermatura ad elementi orientabili. Questi ultimi presentano il vantaggio di garantire una maggiore adattabilità alla variazione dell'incidenza della radiazione solare e danno la possibilità di avere una visuale dall'interno verso l'esterno in qualsiasi momento, anche se sono caratterizzati da una bassa resistenza all'azione del vento.

Vi sono anche sistemi costituiti da schermi mobili o dispositivi trasparenti che incorporano sulla loro superficie film o rivestimenti in grado di ridirezionare la radiazione luminosa incidente, come i rivestimenti a selettività angolare e i dispositivi olografici (HDS).

I sistemi di schermatura integrati all'interno di una unità vetrata doppia o tripla sono, attualmente, meno diffusi. I costi delle operazioni di pulizia sono inferiori rispetto alle schermature esterne, ma la manutenzione può determinare spese notevoli, soprattutto nel caso in cui le schermature siano servomotorizzate, cioè il sistema comprenda motori elettrici.

I sistemi di schermatura all'interno dell'involucro in vetro sono meno efficienti a causa del re-irraggiamento dell'energia termica all'infrarosso (la schermatura funziona come un radiatore): tale fenomeno può tuttavia essere mitigato con l'adozione di sistemi che aspirino l'aria calda presente al di sopra delle schermature. Le operazioni di pulizia e manutenzione sono decisamente più semplici rispetto agli altri sistemi. I prodotti generalmente disponibili sul mercato sono costituiti da materiali tessili, sotto forma di tende avvolgibili, o sistemi orientabili a lamelle orizzontali o verticali (veneziane, ecc.).

Sistemi a doppio strato

Tali sistemi sono caratterizzati da due strati, di cui uno, separato, posto all'esterno della superficie di involucro: tra i due strati si crea un'intercapedine, la quale ospita al suo interno gli eventuali dispositivi di schermatura, protetti in questo modo dall'azione degli agenti atmosferici: le schermature hanno un'efficienza pari a quelle montate all'esterno. Lo strato esterno può essere costituito da vetri singoli o da unità vetrate doppie. L'intercapedine, di norma, deve garantire uno spazio sufficiente allo svolgimento delle ordinarie operazioni di pulizia e manutenzione.

Lo strato d'aria dell'intercapedine si comporta in parte da isolante termico, coadiuvato da particolari accorgimenti adottati nella scelta dei componenti di chiusura e dei dispositivi di schermatura; inoltre, garantisce una continua ventilazione (naturale o forzata), consentendo quindi una riduzione nei consumi energetici connessi al raffrescamento ed al ricambio d'aria all'interno dell'edificio: si tratta di un meccanismo che può arrivare a espellere fino al 25% del calore derivante dal guadagno solare all'interno dell'intercapedine. Quest'ultima può essere connessa direttamente con l'esterno, permettendo così l'attivazione di strategie di ventilazione incrociata e di raffrescamento notturno. Generalmente, usando appropriate vetrate e sistemi di schermatura, si possono raggiungere valori di g pari al 10%. Poiché la temperatura dell'aria aumenta con la quota, la continuità verticale di questo tipo di involucro viene interrotta negli edifici alti. Inoltre, la presenza di uno strato esterno blocca la

pressione del vento, permettendo l'apertura delle finestre dello strato interno anche ai piani alti, ai fini della ventilazione e del ricambio d'aria, o del raffrescamento notturno.

La quantità d'aria scambiata tra l'ambiente esterno e l'intercapedine dipende dalla pressione del vento esterno, dal gradiente di temperatura e dalle dimensioni delle aperture di ventilazione, le quali possono essere tenute costantemente aperte (sistema passivo), controllate manualmente oppure asservite ad un sistema di gestione centralizzato (sistema attivo). In quest'ultimo caso si prevede l'integrazione nell'involucro di specifici sensori, la cui funzione è ottimizzare la ventilazione dell'intercapedine in estate e massimizzare i guadagni solari in inverno, evitando comunque condizioni di discomfort causate, ad esempio, da un'illuminazione eccessiva o scarsa.

Le bocchette di ventilazione situate a livello dell'attacco a terra ed in sommità dell'edificio (nel caso di sistema a doppio strato a tutta altezza) costituiscono un sistema a configurazione variabile: nella stagione fredda, le bocchette sono tutte chiuse, e si ottiene un tampone termico che, sfruttando l'effetto serra, consente di ottenere uno strato isolante che minimizza gli scambi termici con l'esterno. Nella stagione calda, le bocchette sono aperte, e permettono la libera circolazione dell'aria grazie alle correnti convettive e all'eventuale presenza di un sistema di ventilazione meccanica: ciò consente di espellere il calore accumulatosi nell'intercapedine e di raffreddare le schermature.

Un involucro a doppio strato consente una riduzione nel consumo di energia elettrica per l'illuminazione e il miglioramento del comfort luminoso anche in caso di profondità considerevoli del corpo di fabbrica, oltre che un risparmio energetico per il riscaldamento invernale e per il raffrescamento estivo, anche se la presenza di un doppio strato in vetro non esclude l'esigenza di utilizzare impianti per il trattamento dell'aria, sia pure solamente in periodi limitati ed unicamente per il controllo della purezza dell'aria interna.

Il doppio rivestimento presenta anche altri vantaggi: attenua il discomfort termico localizzato nelle immediate vicinanze delle pareti vetrate, protegge dall'inquinamento acustico esterno, presenta tempi ridotti della fase di montaggio poiché molto spesso si utilizzano elementi prefabbricati, e garantisce maggiore durabilità del sistema, sia per l'adozione del vetro come strato di rivestimento, che per la presenza di appositi vani ispezionabili o corridoi accessibili per le operazioni di controllo e manutenzione.

Un involucro a doppio strato può essere *continuo* (detto anche a tutta superficie) quando è caratterizzato dalla mancanza di una suddivisione orizzontale o verticale. Ciò permette lo sfruttamento

del flusso ascendente d'aria nell'intercapedine come fluido da inviare agli impianti di climatizzazione durante la stagione invernale; inoltre, consente di prelevare l'aria esterna da un punto qualsiasi dell'edificio e di trasportarla, attraverso l'intercapedine continua, dove necessario, permettendo così l'utilizzo di aria fresca e pulita anche in ambienti che affacciano verso spazi esterni inquinati.

Un involucro *discontinuo* (a corridoio, a canali o a cellule) presenta il vantaggio di garantire la protezione dalla diffusione dei suoni tra spazi adiacenti dell'edificio e ha funzioni antincendio, grazie alla presenza di setti orizzontali e/o verticali che rendono discontinua l'intercapedine. Inoltre, essa permette agli utenti un controllo locale degli scambi termici tra interno ed esterno e della ventilazione.

Dal punto di vista della strategia di ventilazione e della sua interazione con l'ambiente interno, nei sistemi a doppio strato si può distinguere tra intercapedini a ventilazione naturale, forzata o integrata.

Le *intercapedini a ventilazione naturale* sono caratterizzate dal fatto di non essere comunicanti con lo spazio interno, e il vantaggio consiste esclusivamente nella presenza di uno strato d'aria calda adiacente all'involucro interno dell'edificio nel periodo invernale. La ventilazione in tal caso può anche essere forzata, e permette di controllare il flusso ascendente dell'aria secondo le esigenze. Un altro metodo consiste nell'introduzione forzata, all'interno dell'intercapedine, di aria trattata prelevata dall'ambiente interno, così da compensare le perdite (o i guadagni) di calore indesiderati.

Quando sono presenti sistemi attivi di circolazione dell'aria, è necessario un elevato livello di integrazione tra la chiusura esterna ed i sistemi impiantistici, per ottenere elevati livelli di controllo ambientale dell'edificio e, contemporaneamente, limitare i consumi di energia.

L'installazione di tali sistemi ha un notevole peso economico, che può essere considerato solo in relazione ad investimenti di una certa scala e a tempi di gestione relativamente lunghi: oltre ai significativi risparmi economici ed ambientali in termini di consumo energetico, si beneficia del ritorno in termini di immagine e, nel caso di ambienti lavorativi, di un aumento di produttività, dovuto al miglioramento del livello di comfort negli spazi interni.

Calcolo del guadagno solare diretto tramite le finestre

L'introduzione sul mercato di serramenti con un'efficienza cinque volte superiore rispetto al passato, unito alla costruzione di edifici con una richiesta di energia termica circa 10 volte inferiore, ha permesso la diffusione del design solare passivo. Del resto, la tecnica del riscaldamento tramite ampie superfici vetrate è una tecnica conosciuta già dai tempi dei romani, ma è stata oggetto di maggiori attenzioni solo a partire dal XX secolo, grazie ad architetti come Louis Khan.

Si ottiene un guadagno solare passivo netto quando l'input da radiazione solare è maggiore delle perdite di calore attraverso le finestre. Nel caso queste ultime siano ad alte prestazioni, si ottiene un guadagno superiore rispetto ai modelli tradizionali; infatti, nonostante un valore di g minore rispetto al caso di finestra semplice (quindi minore radiazione in ingresso), le perdite di calore risultano nettamente inferiori.

Di seguito si riportano due esempi riferiti ad una giornata soleggiata (radiazione solare pari a 300 W/m^2) e una coperta (75 W/m^2), con una temperatura esterna media di 0°C . Nell'esempio si fa riferimento ad una finestra moderna, ma di tipo convenzionale.

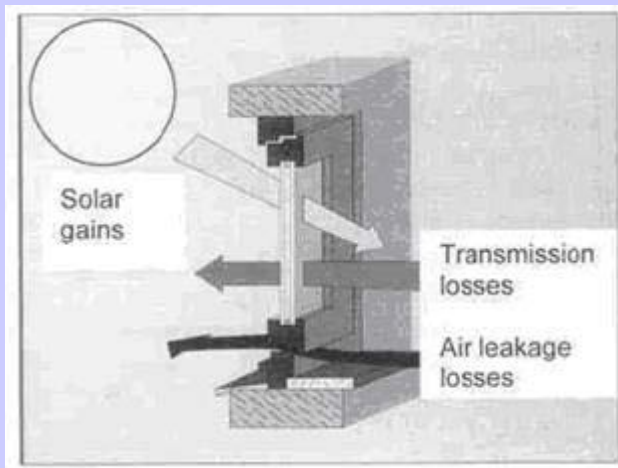
I quattro fattori che influenzano il guadagno sono: condizioni metereologiche (G_{sol}), trasmittanza dei vetri (g), area delle finestre (A), e il rendimento (η).

Condizioni metereologiche (G_{sol}): nel caso di perdite di calore minime, il guadagno solare riesce a mantenere la casa in situazioni di comfort termico, senza necessità di riscaldamento ausiliario; nel caso di case ad alte prestazioni, questo effetto si protrae più a lungo, soprattutto in autunno e primavera, riducendo così il periodo di riscaldamento al solo inverno, quando le giornate sono più brevi e la radiazione solare più debole;

Trasmittanza dei vetri (g): il valore di g dipende moltissimo dal tipo di finestre scelte. In particolare, per edifici ad alto isolamento si scelgono vetri molto performanti, come quelli a bassa emissività, che limitano la radiazione solare in ingresso. Valori di riferimento sono: per costruzioni standard, con valori di $U=1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g=0,6$; per costruzioni ad alte performance, in cui $U=0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g=0,4$. In generale, un valore di riferimento per coperture ad alte prestazioni è $g>0,5$.

Rendimento (η): rappresenta l'usabilità dei guadagni solari passivi. Nel caso di edifici ad alte performance, il rendimento può risultare più alto, perché si può beneficiare del recupero di calore tramite ventilazione meccanica. Si consideri l'esempio di una stanza di 35 m^2 , con una velocità di estrazione dell'aria pari al 45% di volume della stanza all'ora. Se la radiazione solare riscalda la stanza da 20 a 26°C , l'aria esausta fornirà 80 W in più di potenza termica allo scambiatore di calore. Il rendimento, nelle case ad alte performance così come in quelle convenzionali, può essere implementato tramite:

- masse interne, con superficie rivolta verso la luce;
- una pianta senza muri divisorii, per una migliore distribuzione del calore;
- la progettazione della casa con la maggior parte dell'area finestrata rivolta a sud, con un range di variazione di $\pm 45^\circ$.



Bilancio termico di una finestra

Radiazione solare in ingresso

Giornata soleggiata: $G_{sol} = 9h \cdot 300W_{medio}$

Percentuale di radiazione sfruttabile: $\eta = 85\%$

Giornata coperta: $G_{sol} = 9h \cdot 75 W_{medio}$

Percentuale di radiazione sfruttabile: $\eta = 100\%$

Energia diretta + indiretta trasmessa, rispetto alla radiazione totale che investe il vetro: $g = 0,6$.

Perdite di calore

Area della finestra: $A = 1 \text{ m}^2$

Trasmittanza: $U = 1 \text{ W/m}^2\text{K}$

Temperatura interna: 20°C

Temperatura esterna (ambiente): 0°C

Differenza di temperatura tra esterno e interno: $\Delta T = 20^\circ\text{C}$

Bilancio

Calore in ingresso: $Q_{gain} = G_{sol} \cdot g \cdot \eta \cdot 9h$

Calore in uscita: $Q_{loss} = U \cdot A \cdot \Delta T \cdot 24h$

Caso soleggiato

$Q_{gain} = 300W \cdot 0,6 \cdot 0,85 \cdot 9h = 1377 \text{ Wh}$

$Q_{loss} = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot 1\text{m}^2 \cdot 20\text{K} \cdot 24h = 480 \text{ Wh}$

Guadagno netto $Q_{net} = 900 \text{ Wh}$

Coperto

$Q_{gain} = 75 \text{ W} \cdot 0,6 \cdot 1,00 \cdot 9 \text{ h} = 405 \text{ Wh}$

$Q_{loss} = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot 1 \text{ m}^2 \cdot 20\text{K} \cdot 24 = 480 \text{ Wh}$

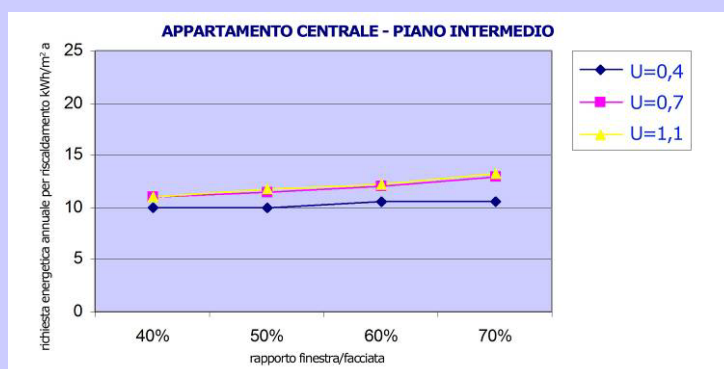
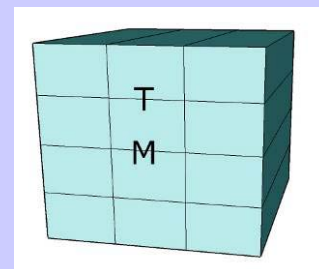
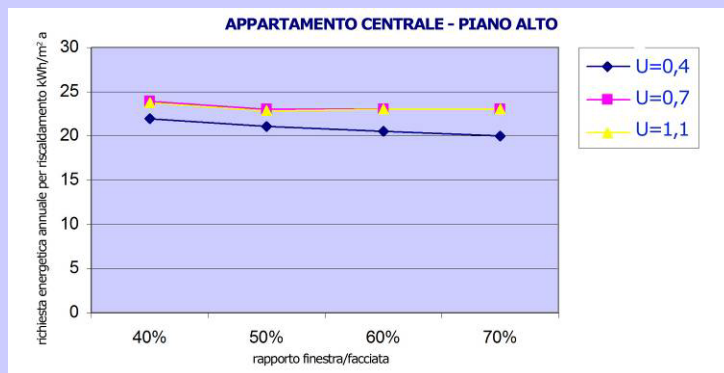
Guadagno netto $Q_{net} = -75 \text{ Wh}$

Il rapido calcolo appena effettuato, dimostra come anche una finestra convenzionale, orientata a sud, produca un guadagno solare netto positivo nel caso di giornata soleggiata, e abbia perdite contenute in caso di cielo coperto, con una temperatura esterna rigida. Nel caso di una finestra ad alte prestazioni, il bilancio potrà solo essere migliore, e da questo deriva che il problema reale, nella valutazione del guadagno solare, risiede nella contemporaneità tra domanda e offerta di calore.

Guadagno diretto in costruzioni ad alte performance

Un discorso a parte deve essere fatto per gli edifici ad alte performance, nei quali i guadagni netti di energia hanno valori assoluti piccoli. Per visualizzare tale condizione, si può fare un esempio.

Le simulazioni dinamiche di un appartamento in una zona a clima temperato mostrano che l'aumento dell'area finestrata non comporta necessariamente un aumento di richiesta di calore, anzi, potrebbe leggermente diminuirlo. Questo fatto può essere visualizzato nel grafico relativo all'appartamento di mezzo, piano alto, e risulta più accentuato nel caso di finestre ad alto isolamento (curva più bassa). Il caso opposto è rappresentato da un appartamento di mezzo, ma ad un piano centrale. Anche se il periodo di riscaldamento è fortemente ridotto (come risultato del fatto che le perdite avvengono solo attraverso le due superfici esterne), si nota un'inversione di tendenza. Incrementando le aree vetrate, le perdite di calore sono appena bilanciate dall'aumento di guadagno solare. Altre simulazioni in condizioni di clima freddo mostrano come le aree finestate debbano essere mantenute al minimo necessario per ottenere una buona illuminazione diurna. Il guadagno solare durante i mesi invernali più bui, non può bilanciare le maggiori perdite di calore dalle temperature ambiente più basse.



Andamento della richiesta annuale di calore per due appartamenti, in dipendenza del rapporto finestra/facciata

SEZIONE III

LA SMART GRID

Capitolo 1

La Smart Grid

Si è già fatto abbondantemente cenno alle smart grid nella prima sezione, con una breve descrizione delle caratteristiche principali. In questo capitolo si analizzerà più approfonditamente lo scenario mondiale ed europeo, relativo alla generazione distribuita, nonché le tecnologie a supporto della creazione delle reti intelligenti.

1 La Generazione Distribuita di Energia: Progetti di Implementazione Smart- Grids fra Europa ed U.S.A

1.1 Scenario USA

Il 23 febbraio 2009 è stato approvato lo “Stimulus Plan”, un piano per risanare l’economia dalla crisi e reinvestire in vari settori dei servizi, tra cui l’energia. Questo piano prevede investimenti nel settore energetico pari a 49,7 miliardi di dollari suddivisi in:

- \$11 miliardi per una rete efficiente di Smart Grid (R&D, altri progetti e fondi) facenti parte dello Smart Grid Plan coordinato e comandato da una ”task force”, presieduti dal DOE (Department of Energy)
- \$6 miliardi per le energie rinnovabili e per migliorare la tecnologia delle rete di trasmissione
- \$6,3 ai governi locali e statali come supporto per investimenti sulla rete
- \$8,7 miliardi stanziati per la rete tra trasmissione e distribuzione per un totale di \$32 miliardi in rete
- \$17,7 destinati alla generazione

1.2 Scenario europeo

In Europa invece non è ancora passata nessuna legge a riguardo, però la Commissione Europea prevede di investire €750 miliardi nei prossimi trent'anni con il progetto "European Smart Grids Technology Platform", di cui €90 miliardi nella Trasmissione, €300 miliardi nella Distribuzione e €350 miliardi nella Generazione. Tra i partners del progetto ci sono: AREVA, ABB, E CONTROL, EDF, ENEL, EON, IBERDROLA, SAP, SIEMENS, ZIV, tutti coordinati dalla Commissione Europea. Obiettivo di questi 2 progetti è quello di applicare la generazione distribuita ad una rete interconnessa di vari Stati, trasformando la domanda in attiva-“real time” in modo da rendere il consumer partecipe del sistema elettrico. La rete americana risulta essere più obsoleta e mal progettata rispetto a quella europea; perciò negli U.S.A. si ha intenzione di puntare in particolar modo sull'ammodernamento del sistema e sulla riduzione degli sprechi, in Europa invece, questo progetto avrà il compito di coordinare il flusso di energia elettrica tra gli Stati, migliorando l'efficienza del sistema fino al 20%.

1.3 Scenario italiano :l'Europa incentiva le Smart –Grids

La legislazione UE impone a tutti gli stati membri di migliorare l'efficienza energetica entro il 2016, puntando, rispetto al consumo energetico registrato tra il 2001 e il 2005, ad un risparmio del 9 %, anche grazie al contributo delle Smart - Grid, il cui elemento cardine sono per ora i contatori elettrici intelligenti (Smart Meter). Per raggiungere lo scopo sono stati avviati programmi di incentivazione statali in tutta Europa secondo Greenbang, l'istituto britannico di ricerche di mercato, in Europa sono già installati quasi 53 milioni di Smart Meter. In dieci anni il loro numero dovrebbe raggiungere i 133÷145 milioni. In Italia siamo già a posto ed anche la Svezia è a buon punto; in Germania, i contatori intelligenti per energia elettrica e gas sono già installati sulle nuove costruzioni e sugli edifici ristrutturati a da gennaio 2010. Quanto all'Olanda, gli Smart Meter dovranno essere installati entro il 2013 in tutti i sette milioni di abitazioni del paese. Gli Smart Meter devono soddisfare diversi requisiti tecnici in termini di misurazione e comunicazione, oltre a consumare poca elettricità (altrimenti vanificano i benefici per cui nascono); inoltre devono essere costruiti con un'elettronica facilmente adattabile, visto che per il momento non c'è unificazione nei vari Paesi europei. Per i sistemi Smart Metering sono stati realizzati i moduli Arrow, in

grado di supportare sia la trasmissione dei dati misurati ai fornitori di energia elettrica e ai consumatori finali, sia il cablaggio.

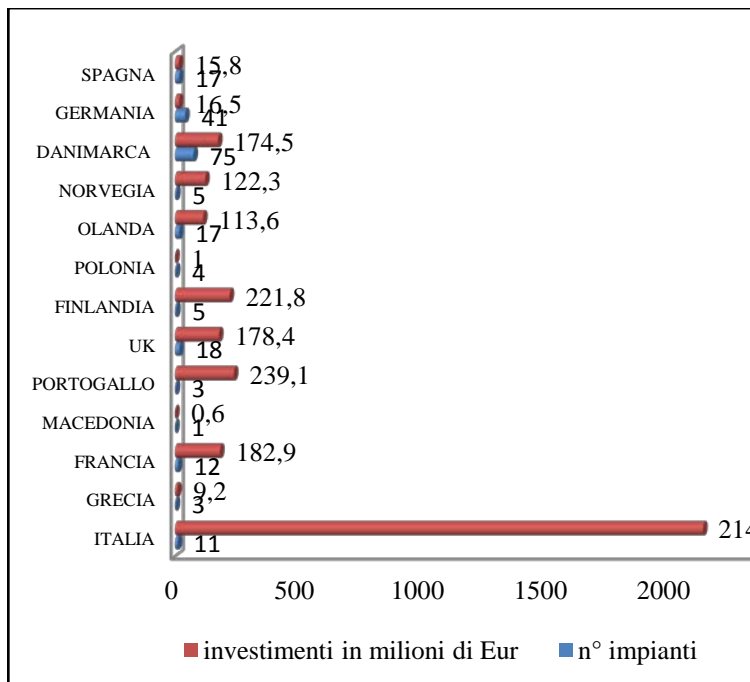


Grafico 1- Panoramica dei progetti d’investimento nel settore delle reti intelligenti e del loro stato di attuazione nell’UE (fonte: CCR, IE)

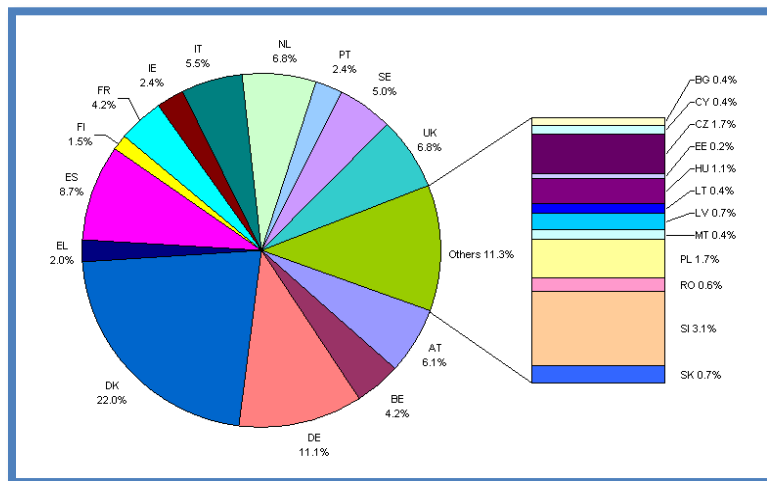


Figura 1 - Iniziative in materia di Smart Grids stanno crescendo di numero nella UE per ciascun Paese membro (fonte: Rapporto European Commission)

I progetti rappresentati possono interessare più di un paese ed includere più di una categoria. Non sono compresi tre progetti: la super-rete “K Flak” l G l D l d 507 l d EURK riegers Flak” tra Germania e la

Danimarca, con un grande investimento, l'introduzione di contatori intelligenti e di un'infrastruttura Regno Unito, con una spesa di 11 897 milioni di EUR, e l'introduzione di contatori intelligenti in Svezia articolata in 150 sotto-progetti, con una spesa di circa 1 500 milioni di EUR.

2 Caratteri generali di una Smart-Grid

Una Smart Grid è concettualmente costituita da una serie di “mini-reti”, in cui ogni tipo di utente (utenti domestici, piccole e medie imprese, fino alle aziende di maggiori dimensioni) può produrre localmente energia e utilizzarla per le proprie esigenze al di fuori della rete di erogazione elettrica.

Al tempo stesso, grazie alla tecnologia dei contatori intelligenti, il flusso energetico deve poter avvenire in senso bidirezionale: in altri termini, i produttori locali potranno, di volta in volta, attingere dalla rete principale o usufruire di essa per rivendere all'ente erogatore la propria produzione di energia elettrica.

Per quanto semplice, una Smart Grid non è attuabile in modo immediato, nonostante le tecnologie attualmente a disposizione possano supportare senza problemi la sua struttura.

Una smart grid deve prima di tutto avere le seguenti caratteristiche e potenzialità:

- Integrare in rete generazione elettrica centralizzata e diffusa;
- Immettere in rete, a pari condizioni, energia prodotta in generazione costante, variabile e intermittente;
- Interconnettersi con altre reti (anche a livello internazionale) di servizi e flussi di potenza;
- Avere la capacità di autoanalizzarsi in modo da evitare congestioni e garantire maggiore affidabilità, sicurezza e qualità del servizio, ma anche ottimizzare i costi per manutenzione e operatività;
- Disporre di informazioni in tempo reale sia per i produttori, sia per i clienti finali;
- Offrire la possibilità ai clienti finali di effettuare scelte che interagiscano con il sistema;
- quantificare le scelte degli utenti;
- avere un'architettura di connessione globale simile a Internet, di “intelligenza distribuita” e flussi di potenza.

2.1 Svantaggi principali

A fronte dei benefici apportati dalle Smart Grid non bisogna tralasciare gli ostacoli per la sua implementazione, che risiedono, come più volte accennato, nell'adeguamento delle attuali infrastrutture elettriche, nelle tempistiche di realizzazione, piuttosto lunghe, nella mancanza di precisi accordi politici. Non bisogna inoltre tralasciare che, nonostante la tecnologia a disposizione abbia forti potenzialità, ancora sussistono vincoli tecnici sul controllo, la previsione e la gestione dei flussi di energia.

Predisponendo strumenti di rilevazione e misura presso ogni centro di produzione e ogni utenza, sarà possibile avere a disposizione, in ogni istante, in qualsiasi punto della rete, un quadro completo ed esaustivo dello stato di produzione e di uso, così da poter indirizzare i flussi energetici dove necessario.

Quando ci si riferisce alle smart grid si parla anche di “Internet of Energy” (per approfondimenti, si rimanda ad un’interessante studio di BDI “Internet of Energy - ICT for Energy Markets of the Future. The Energy Industry on the Way to the Internet Age”)

La configurazione di una rete intelligente, infatti, è del tutto simile a quella della rete Internet, nella quale il flusso di dati è del tutto bidirezionale e continuamente coordinato, nonché ordinato.

E' proprio questa caratteristica, però, che rende ancora incerto lo sviluppo delle smart grid: così come la rete internet è oggetto di attacchi di pirateria informatica, così potrebbe esserlo una rete elettrica strutturata allo stesso modo, e ciò porterebbe ad una vulnerabilità tale da compromettere la qualità e la continuità del servizio elettrico.

La facilità di intrusione in rete è facilmente intuibile data la semplicità costruttiva e l'economicità dei dispositivi di cui dovrebbe essere dotata larga parte dell'utenza, ovvero gli smart meters, contatori intelligenti capaci di interfacciarsi con la rete per lo scambio di informazioni e di energia.

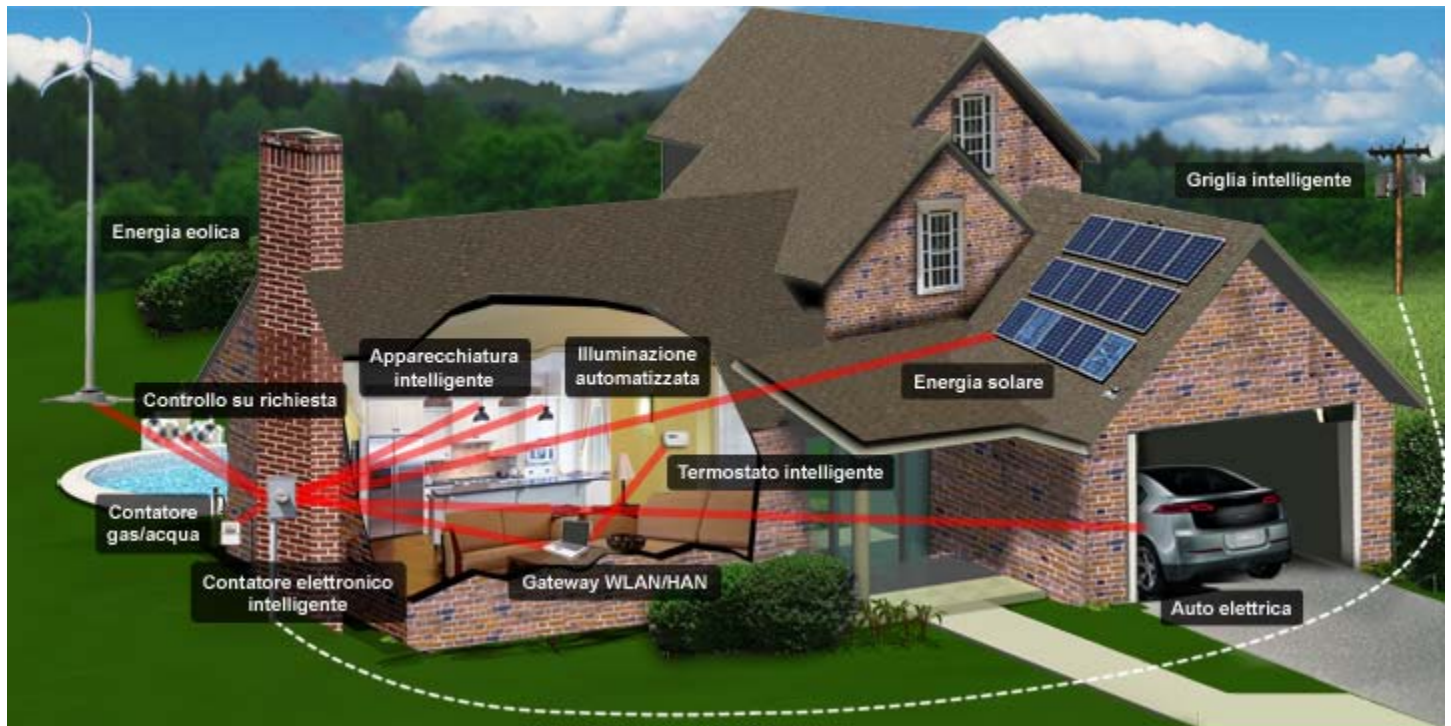


Figura 2- Smart meter: le principali funzioni e l'integrazione della rete domestica.

2.2 Componentistica

Gli elementi base di una Smart-Grid sono:

- un sistema informatico che monitorizza la rete da remoto attraverso sensori e apparecchiature elettroniche intelligenti collocati presso le utenze, allo scopo di analizzare consumi e trend;
- la trasmissione di dati in tempo reale, attraverso reti di comunicazione;
- un sistema decisionale in real-time che include modelli, simulazioni, visualizzazioni e capacità analitiche, capace di intervenire sulla rete e di operare in remoto, interagendo con i carichi attivi e i parametri di esercizio.

SMART GRID

A vision for the future — a network of integrated microgrids that can monitor and heal itself.

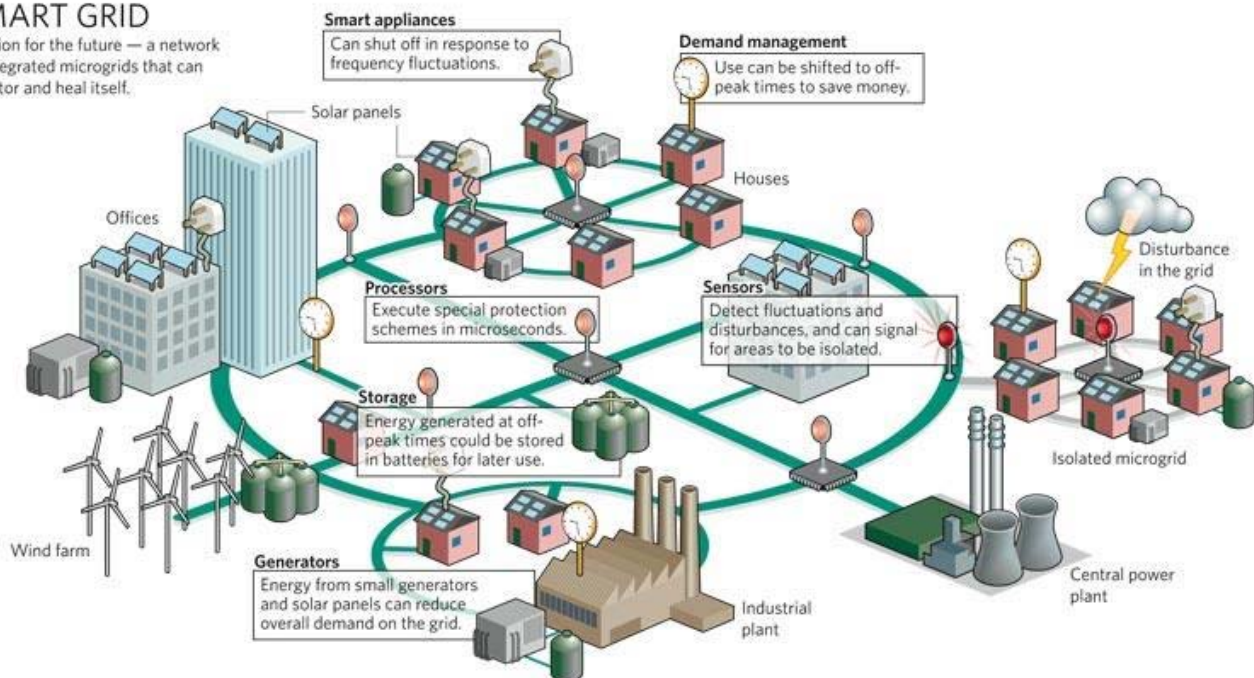


Figura 3- Schema esemplificativo di smart grid

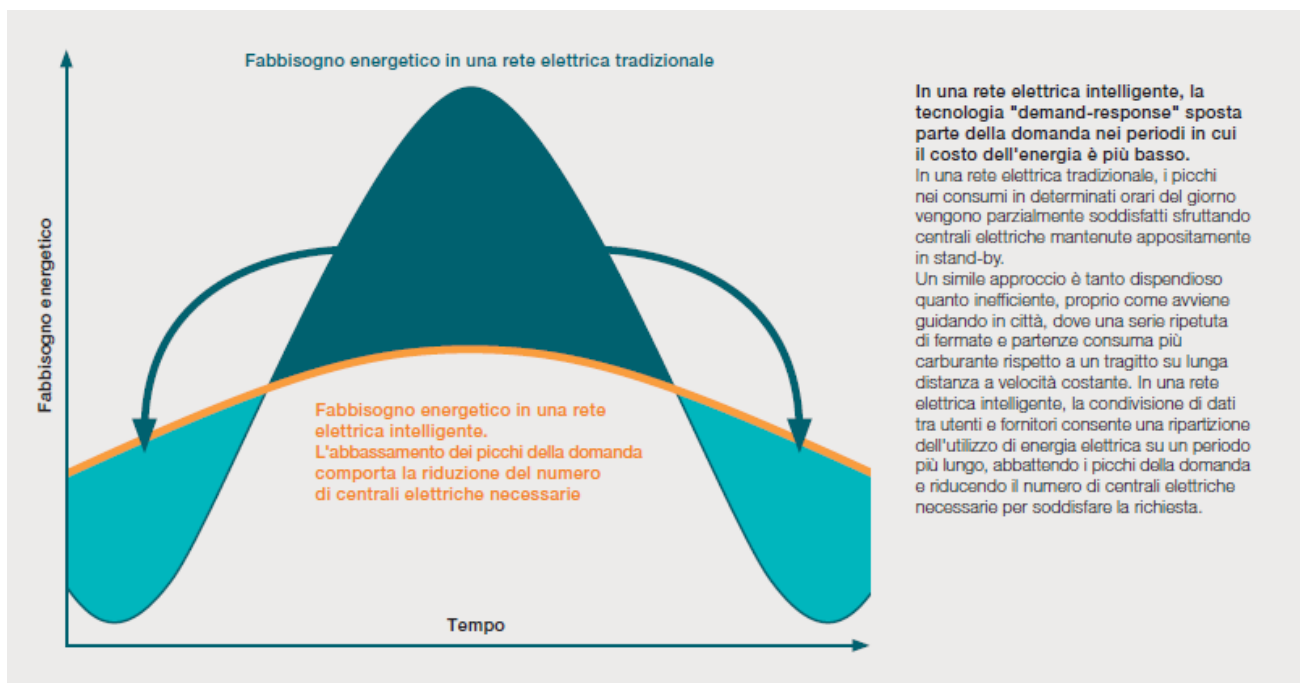


Figura 4 – vantaggi della smart grid: copertura più efficace dei fabbisogni e minore produzione di energia (fonte ABB)

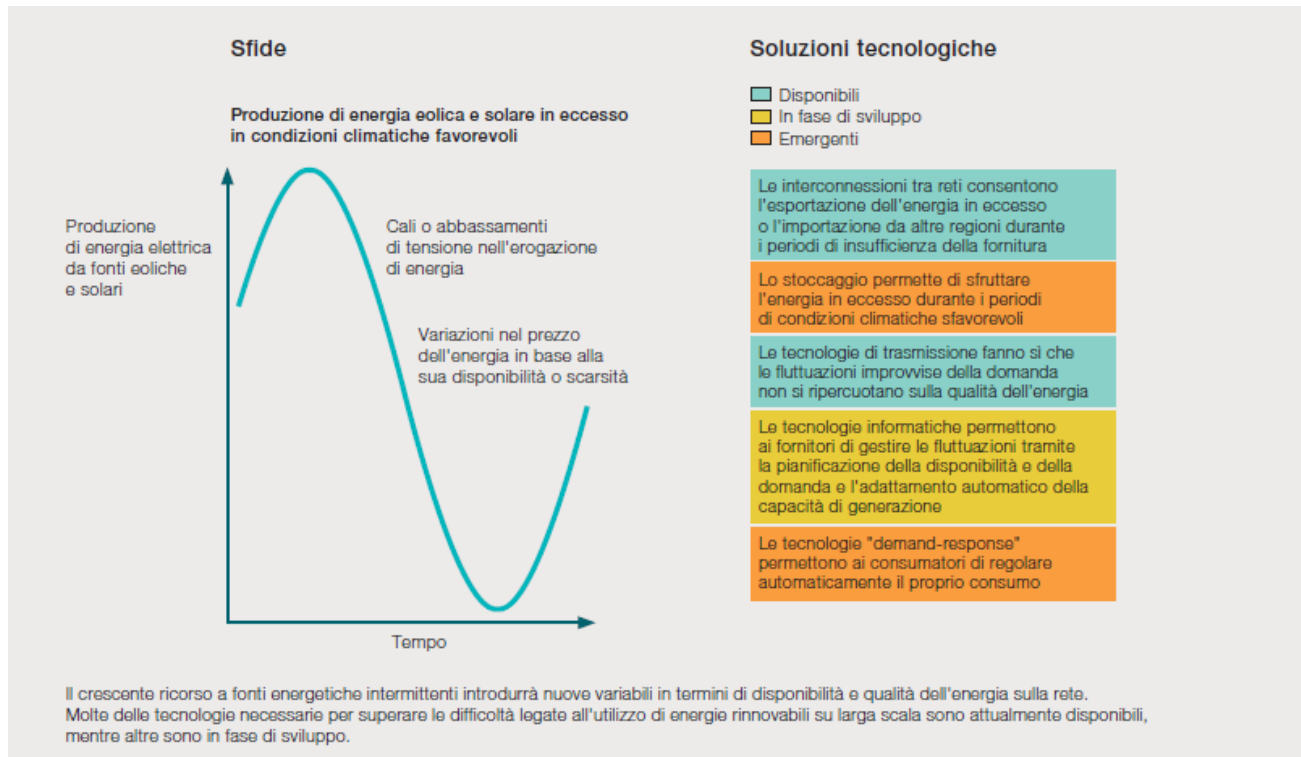


Figura 5 – Sfide nella realizzazione di una smart grid: soluzioni tecnologiche e stadio di sviluppo (fonte: ABB)

Secondo quanto riportato da Capgemini, multinazionale che offre servizi integrati per reti intelligenti, le cinque componenti fondamentali di una smart grid sono:

1. Dati e processi GIS
2. Preesistenza di una rete WAN/LAN
3. Rete di distribuzione correttamente predisposta e con punti noti
4. Architettura dei sistemi integrati
5. Sistema IT (Information Technology) interlacciato.

In allegato, la brochure della società con ulteriori informazioni.

Più in generale, nel panorama di tecnologie sul mercato, diverse aziende sono pronte ad offrire supporto e servizi per l'adozione di tecnologie e servizi smart. In particolare, per quanto riguarda i servizi energetici, si possono portare ad esempio le soluzioni "smart metering", "smart grid" e "smart home".

Smart Metering è alla base di Smart Grid e fornisce:

- Tariffe migliori affinché i consumatori possano essere liberi di scegliere, cambiare abitudini e ridurre i consumi
- Costi di esercizio ridotti associati alla lettura e alla manutenzione dei contatori
- Attivazione di processi di monitoraggio e controllo della rete per migliorare l'affidabilità, la qualità e la sicurezza della rete elettrica

Smart Grid consente efficienza di esercizio e generazione distribuita fornendo:

- Ottimizzazione degli asset con comunicazioni bilaterali e gestione avanzata delle applicazioni
- Efficienza energetica e riduzione della CO₂ con abbattimento delle perdite di linea
- Maggiore affidabilità grazie a un migliore controllo e a servizi di gestione in caso di interruzione dell'erogazione dell'energia elettrica

Smart Home offre ai clienti la possibilità di monitorare e controllare i consumi energetici fornendo:

- Dispositivi controllabili dal cliente e gestione energetica
- Programmi di controllo della domanda che siano flessibili, efficienti ed economicamente vantaggiosi per le utilities
- Programmi per la gestione e la fornitura della generazione distribuita ed alternativa

Smart Vehicle si concentra sullo sviluppo e utilizzo di veicoli a basso impatto ambientale e sulle infrastrutture necessarie per la loro adozione attraverso:

- Reti e sistemi di gestione delle stesse che consentano la ricarica in modo diffuso e trasparente per l'utente
- Programmi e sistemi per una gestione intelligente dei cicli di carica e scarica delle batterie e la loro integrazione nelle reti domestiche
- Utilizzo dei veicoli elettrici quale risorsa di stoccaggio dell'energia per migliorare il bilanciamento delle reti di distribuzione elettrica

Smart City mira all'utilizzo intelligente di tutte le risorse disponibili, minimizzando le risorse necessarie, migliorando la qualità della vita dei cittadini, inventando un nuovo modo di concepire gli spazi comuni, attraverso:

- Sistemi intelligenti di gestione del traffico e delle infrastrutture per il ciclo energetico dei veicoli elettrici per una mobilità urbana più efficiente ed a basso impatto ambientale
- Sistemi integrati di gestione delle risorse negli edifici pubblici e privati, ai fini di una maggiore efficienza energetica per liberare risorse e migliorare la qualità della vita
- Gestione intelligente delle informazioni e incremento della interconnettività per veicolare in modo più efficiente servizi pubblici, informare meglio i cittadini e creare comunità "virtuali" che abilitino lo sviluppo di idee e talenti

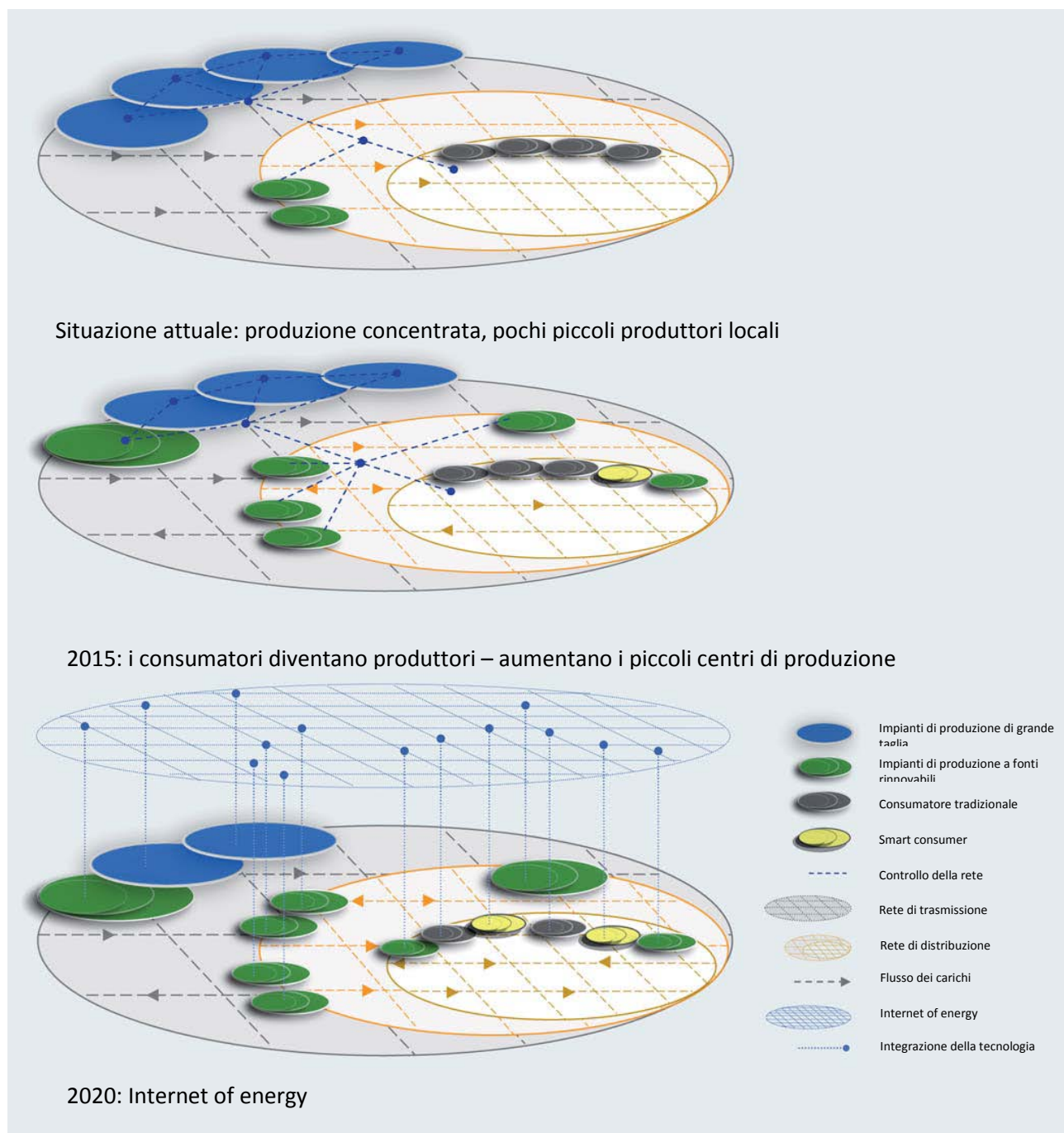


Figura 6 – Passaggio da rete tradizionale a smart grid – Internet of Energy (fonte ABB)

Per quanto riguarda la Smart Home, è bene soffermarsi sulle possibilità offerte dalla domotica e dalla building automation. In particolare, questa seconda opzione, legata alla gestione di edifici non residenziali, si presta particolarmente a legami con il cloud computing (in allegato, una descrizione dei servizi di infratructure transformation services adottati per il passaggio al cloud computing) che oltre ad essere un valido supporto alle attività aziendali, visto che propone un sistema di condivisione

dei dati in rete che non necessita più di singole macchine per singoli utenti, è legato ad una forte riduzione della spesa energetica aziendale.

3 Domotica e building automation

Il termine domotica nasce dalla fusione della parola “domus” (casa, in latino) e di automatica, o, in alternativa, informatica. Si fa in questo modo riferimento ad una disciplina che si occupa dell’integrazione dei dispositivi elettronici, degli elettrodomestici, dei sistemi di comunicazione e controllo all’interno dell’edificio, che in tale modo, da semplice involucro, diventa “edificio intelligente”.

Un edificio intelligente è capace di ottimizzare i cicli di vita dei sistemi e delle attrezzature che lo costituiscono, di ridurre i costi legati al suo uso e di accrescere il comfort di chi lo occupa, che, nel caso di edifici adibiti ad uso terziario, si traduce in un aumento della produttività lavorativa.

Le tecnologie informatiche e di telecomunicazione, e in generale tutte quelle che permettono un’automazione delle operazioni, costituiscono lo strumento principale per il raggiungimento di tale obiettivo, consentendo l’integrazione delle risorse impiantistiche presenti nell’edificio.

In particolare, si parla di HBES – Home and Building Electronic System, per indicare il sistema elettrico/elettronico che ha come obiettivo il controllo e il comando (automatico o meno) di un sistema integrato di funzioni negli edifici, a uso residenziale (per i quali si parla propriamente di domotica) o terziario o industriale (nel qual caso si usa il termine building automation).

Ogni sistema domotico si basa su un sistema sequenziale di trasmissione digitale delle informazioni secondo un protocollo definito, che viene definito sistema BUS (Binary Unit System). L’uso del sistema BUS permette di integrare tra di loro quattro principali reti domestiche che, in normali impianti, sono concepite e lavorano separatamente:

- rete di informazione e comunicazione (I/C): pc, telefoni etc;
- rete di intrattenimento (A/V): tv, lettori dvd, console di gioco;
- rete di automazione e controllo: illuminazione, riscaldamento, aria condizionata, gestione dell’energia e degli elettrodomestici;
- rete di sicurezza: sensori, allarmi, videocamere.

Concepire tali reti, per quanto moderne e automatizzate, come separate, genera ridondanza e complessità circuitale, oltre a una generale incompatibilità tra le reti e una notevole complessità di esercizio e manutenzione, dalla quale derivano costi elevati.

Il passo avanti rappresentato dalla domotica sta nell'integrazione di queste reti. Per esplicitare il vantaggio apportato, si può pensare, ad esempio, alla semplice chiusura delle tapparelle, operazione che può rispondere a più esigenze contemporaneamente: sicurezza, illuminazione, climatizzazione. In un sistema a reti separate, paradossalmente, potrebbe essere presente un dispositivo atto al comando delle tapparelle in ogni singola rete.

Riassumendo, la domotica permette una profonda integrazione delle seguenti funzioni:

- controllo dei carichi e gestione degli scenari
- risparmio energetico e gestione dei consumi
- monitoraggio e segnalazione
- riscaldamento, climatizzazione e ventilazione
- security (sicurezza delle cose, per es. anti-intrusione)
- safety (sicurezza delle persone, es. antincendio)
- comunicazione verso l'esterno
- intrattenimento e tempo libero

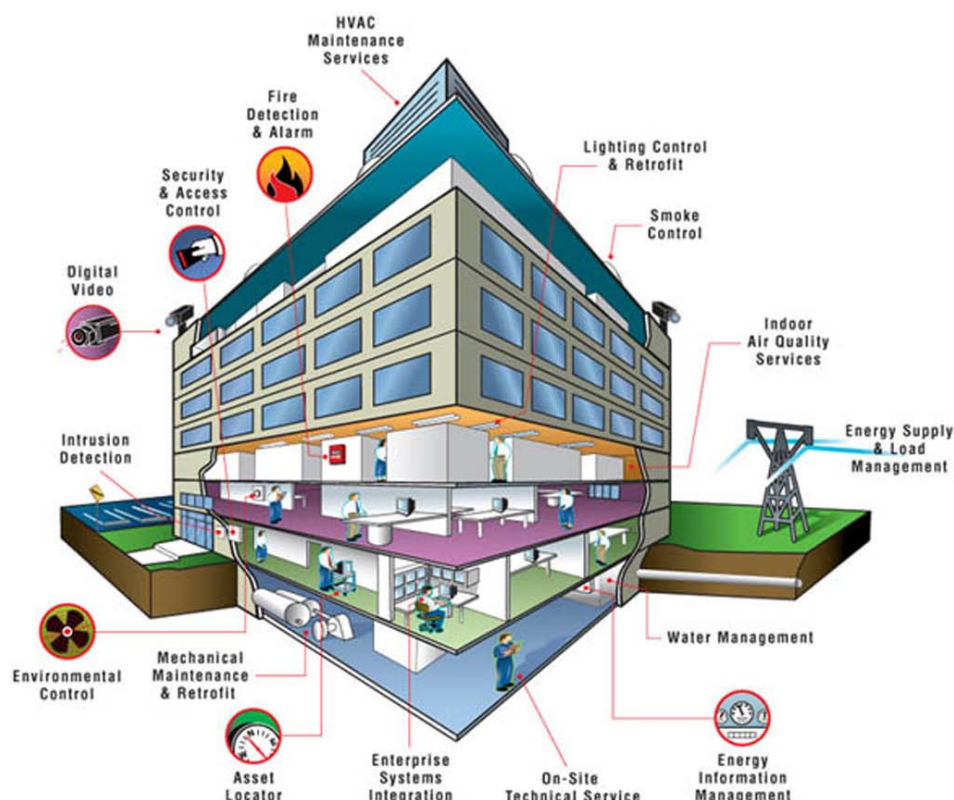


Figura 7 - Potenzialità del sistema domotico

Nella progettazione di un sistema domotico o di building automation, le dotazioni “intelligenti” della casa o dell’intero edificio non possono essere considerate come a se stanti, ma devono essere concepite e progettate contestualmente alle specifiche impiantistiche, costruttive e strutturali, nonché all’organizzazione dello spazio. In tal modo, si raggiungono elevati livelli prestazionali per quanto riguarda il funzionamento dei singoli sistemi e dell’edificio nel suo insieme: va considerato, infatti, che i costi associati agli impianti incidono fortemente sul bilancio sia in fase costruttiva che di gestione, fatto ancora più evidente nel caso degli edifici del terziario.

3.1 Gli scenari

Una casa intelligente è una casa in cui è più facile, più sicura e più comoda la vita di tutti i giorni. Un sistema intelligente permette di controllare e gestire la sicurezza, le porte, le tapparelle, le luci, gli elettrodomestici, il riscaldamento, l’home theatre, e molti altri apparecchi presenti nella casa, al fine di migliorare in comfort abitativo.

Per ottimizzare il controllo sugli elementi, è possibile impostare una serie di scenari, attivabili tramite un singolo comando su diversi tipi di interfaccia: telefoni, pulsanti, telecomandi, touch screen; è possibile quindi comunicare con la casa sia quando ci si trovi al suo interno, sia da fuori.

Si può quindi ipotizzare una serie di scenari utilizzabili durante una giornata tipo:

- scenario “INGRESSO A CASA”: disinserimento dell’allarme, apertura della porta di ingresso, messaggio di benvenuto in casa, accensione delle luci, apertura tapparelle, regolazione temperatura impostata, eventuale diffusione musicale;
- scenario “CENA”: accensione luci cucina, piano cottura, cappa aspirante. Scelta del programma di cottura per il cibo;
- scenario “DOPO-CENA”: regolazione luci, che passano da intense a soffuse, accensione sistema di home-theatre, accensione lavastoviglie e/o lavatrice;
- scenario “BUONA NOTTE”: chiusura tapparelle, spegnimento luci, accensione luci soffuse nella zona notte, spegnimento diffusione sonora e home-theatre, regolazione della temperatura in regime di risparmio energetico, inserimento allarme, chiusura porta ingresso;
- scenario “BUONGIORNO”: lo scenario è programmato insieme alla sveglia, e comprende il riscaldamento del bagno, apertura tapparelle, accensione luci in cucina, attivazione macchina del caffè, accensione diffusione sonora, disinserimento dell’allarme e del sistema di sicurezza;
- scenario “USCITA”: chiusura tapparelle, disattivazione di apparecchi tipo radio, tv etc, inserimento allarme, regolazione bassa della temperatura o eventuale spegnimento del sistema di riscaldamento/raffrescamento.



Figura 8 - Esempio di centralina di controllo con comandi touch-screen

In molte applicazioni, sono utilizzati i protocolli ZigBee, progettati per applicazioni embedded, che richiedano velocità di trasferimento dati e bassi consumi. L'obiettivo di ZigBee è di definire una Wireless mesh network non mirata, economica e autogestita che possa essere utilizzata per scopi quali il controllo industriale, le reti di sensori, domotica, le telecomunicazioni, ecc. La rete risultante avrà un consumo energetico talmente basso da poter funzionare per uno o due anni sfruttando la batteria incorporata nei singoli nodi. ZigBee offre diverse soluzioni, tra cui:



ZigBee Building Automation, per un controllo centralizzato di illuminazione, condizionamento, sicurezza ecc



ZigBee Remote Control, per gestire in remoto il controllo degli impianti

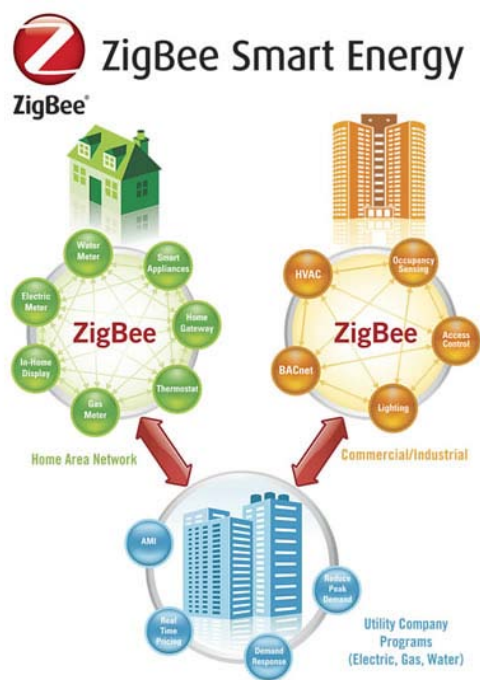


ZigBee Home Automation, per soluzioni domotiche flessibili ad uso residenziale



ZigBee Input Device, per rendere efficienti pc e loro componenti esterni

...oltre ad altri prodotti in fase di sviluppo. L'applicazione sicuramente più interessante ai fini di questo lavoro è però ZigBee Smart Energy, che, integrando le singole reti, permette di ottenere efficienza di gestione per gli edifici ad uso residenziale, per gli uffici e per le utilities ad essi connessi.



Capitolo 2

Smart mobility: veicoli intelligenti su strade intelligenti

Un nodo cruciale nell'organizzazione urbana è quello della mobilità.

Anche se la prospettiva continuamente ipotizzata è quella di un efficace sistema di trasporto urbano, non si può prescindere dalla reale situazione attuale, nella quale la mobilità privata gioca un ruolo importante nel contesto urbano, e che è frutto della preponderanza dei combustibili fossili degli ultimi decenni.

Questa diffusione su larga scala, ha comportato un sottodimensionamento delle infrastrutture è rispetto alla domanda di mobilità attesa da qui a pochi anni: elevati tassi di incidentalità, tempi di attesa lunghissimi e congestioni sono le conseguenza più evidenti, ma altri problemi sono strettamente legati a tale condizione, come l'aumento delle concentrazioni di inquinanti nell'aria, surriscaldamento atmosferico e smog, diminuzione della qualità della vita in città.



Figura 1 – Situazione di traffico su strada extraurbana. Il sovraffollamento è tipico di alcune giornate festive e prefestive o in caso di eventi eccezionali. Una corretta diffusione delle informazioni in tempo reale può

fornire all'utente la possibilità di scegliere percorsi alternativi, anche essi eventualmente suggeriti dal sistema informativo

Per porre rimedio a tali problematiche è necessario un approccio olistico finalizzato a realizzare città intelligenti, composte da sistemi connessi. Creare una mobilità intelligente presuppone una mobilità informata, un sistema in grado di rendere gli utenti della strada coscienti delle loro scelte di viaggio e contemporaneamente i soggetti preposti alla gestione della rete, in condizione di poter prevedere e rispondere tempestivamente alle esigenze informative.

Grazie alla diffusione tecnologica che permea abbondantemente la vita quotidiana, ai dispositivi di localizzazione, ormai entrati nell'uso comune, abbiamo a disposizione, ogni giorno, grandi quantità di dati che, integrati con altre fonti informative, possono giocare un ruolo strategico per una corretta gestione ed organizzazione di una mobilità più efficiente e sicura.

Naturalmente rivestono un ruolo strategico all'interno di questo percorso le tecnologie ITS "Intelligent Transportation System", che consentono di applicare la filosofia delle comunicazioni intelligenti al settore della viabilità, al fine di minimizzare le probabilità di rischio, ottimizzare il patrimonio esistente attraverso nuove tecnologie di acquisizione dei dati e diffusione delle informazioni a gestori ed utenti. Infrastrutture intelligenti che dialogano tra loro e con i veicoli che le percorrono, come una grande maglia che oltre a beni e persone veicola informazioni, è la chiave per migliorare la qualità della vita e dell'ambiente, aumentando la produttività delle aziende ed ottimizzando le risorse disponibili.

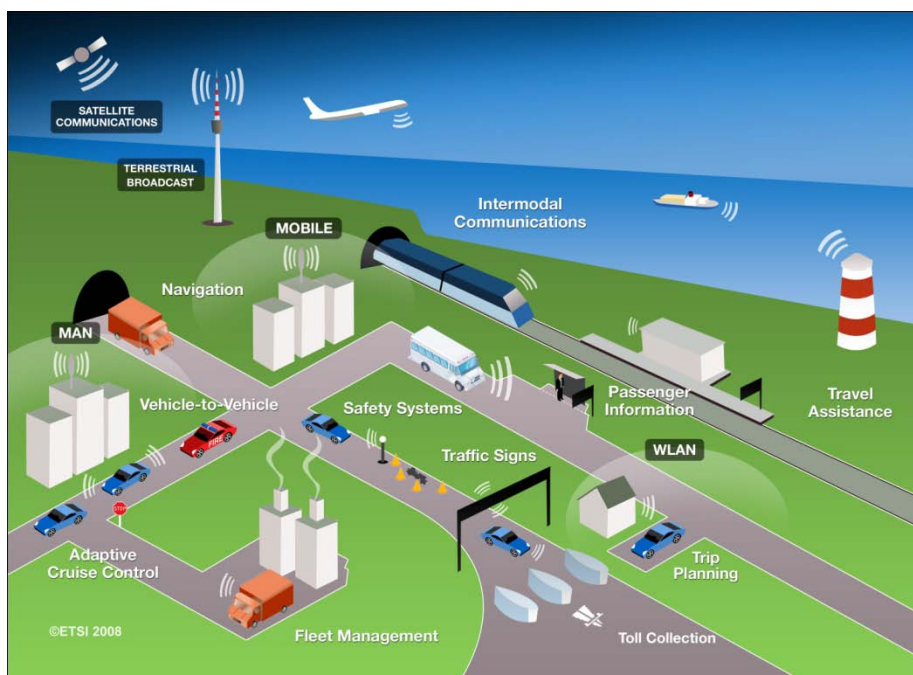


Figura 2 – Schema di Intelligent Transportation System. E' immediatamente visibile l'attinenza con il modello smart grid.

L'obiettivo primario, da raggiungere in tempi brevi, è quello di garantire livelli di sicurezza più elevati sulla rete stradale, condizione che non può prescindere da una profonda conoscenza delle infrastrutture sia in termini strutturali sia in termini di flussi di traffico.

L'apporto delle ITS è strategico poiché consentirà di creare una nuova coscienza della sicurezza stradale , fondata sul principio “conoscere e comunicare per prevenire”.

1. Andamento dei consumi energetici mondiali nel settore della mobilità

L'andamento dei consumi mondiali lordi di energia evidenzia un trend crescente negli ultimi dieci anni ha visto una crescita superiore al 20%, raggiungendo il livello di oltre 12 miliardi di tonnellate equivalenti di petrolio. La principale causa di questa crescita dei consumi è il recente sviluppo di grandi paesi come la Cina, l'India ed il Brasile, che oggi pesano significativamente sul bilancio energetico mondiale.

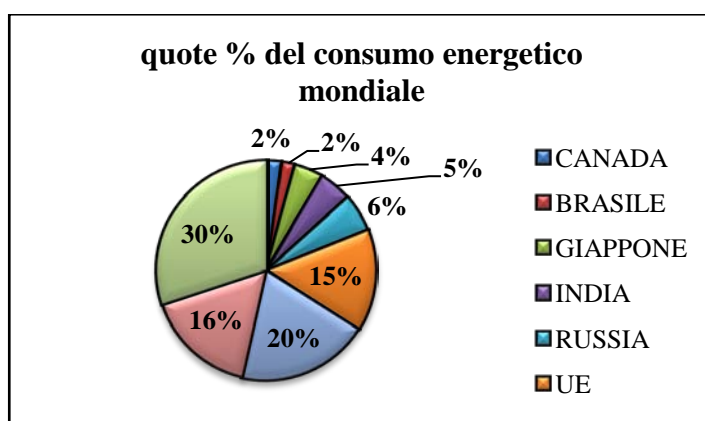


Figura 3 – Ripartizione dei consumi mondiali di energia nel settore della mobilità - 2010 (fonte Eurostat)

1.1 Il sistema della mobilità in Europa

Quadro sintetico introduttivo

L'Ue è dotata di una delle più efficienti ed estese reti di trasporti: la diffusione di ferrovie e autostrade, a parità di superficie, è superiore a quella degli USA e non si discosta in misura rilevante da quella del Giappone. Con la sola eccezione delle linee ferroviarie, diminuite dell'8% tra il 1990 e il 2003 (ma nello stesso periodo la flessione negli USA è stata più sostenuta), negli ultimi 20 anni la disponibilità di reti per la mobilità è aumentata per tutte le modalità, con incrementi particolarmente significativi per le autostrade e le altre strade. Il trasporto merci nell'Ue25 è cresciuto ad una media annua del 2,8% nel periodo 1995-2005, a un ritmo superiore anche rispetto alla dinamica del Pil (2,3% a prezzi costanti) e anche il traffico passeggeri ha mostrato una tendenza espansiva, anche se più contenuta. I trasporti su strada rappresentano la modalità largamente più diffusa nel settore: incidono per oltre l'84% sul trasporto passeggeri e per il 44% nel trasporto merci, a fronte di valori più contenuti ma comunque significativi (39%) anche per il trasporto via mare.

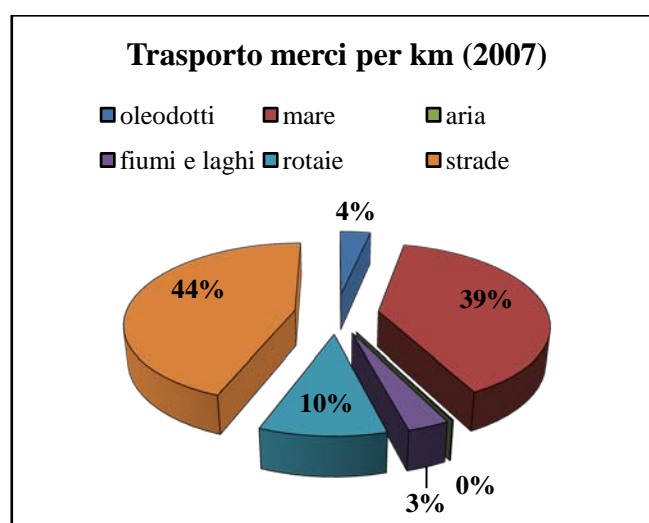
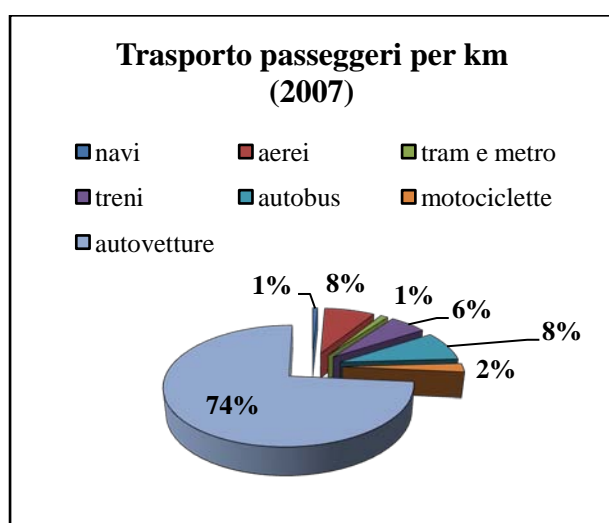


Figura 4 (a sinistra) – Trasporto italiano passeggeri (fonte Ministero dello Sviluppo economico)

Figura 5 (a destra) – Trasporto italiano merci (fonte Ministero dello Sviluppo economico)

1.2 Il sistema dei trasporti: evoluzione di un settore tra crisi e opportunità

La crisi del settore automobilistico degli ultimi anni spinge a una riflessione molto ampia sul settore dei trasporti. La congiuntura economica, decisamente complessa per essere affrontata in questa sede, ha portato all'evidenza un trend ormai in atto.

Infatti, oltre alle possibilità economiche dei singoli, ridimensionate dalla crisi mondiale, si sono fatte strada anche altre motivazioni, legate al crescente dibattito ambientale, e al prezzo sempre crescente del petrolio, che sembra non raggiungere un limite massimo o comunque una sua stabilità.

Da una prima analisi, la tematica ambientale potrebbe apparire ancora priva di largo consenso, ma nei fatti, il singolo individuo, in quanto consumatore, è naturalmente spinto ad associare il risparmio legato a mezzi di trasporto più economici al fatto che, adottandoli, inquina meno.

Il vero quesito relativo alla mobilità, quindi, è se questa crisi così profonda può essere considerata solo una “pausa” oppure può essere presa come reale opportunità per il cambiamento.

In alcuni studi condotti da società finanziarie, si rivela come ci siano tre principali tendenze da non sottovalutare:

- Neoecologia, che risponde a quanto appena detto, e porta il consumatore ad associare ecologia ed economia, nonché ad avere particolare attenzione verso i produttori più “green”;
- Individualizzazione, ovvero perdita degli status symbol. Un capo d’industria non deve necessariamente guidare una berlina extralusso, e può scegliere una vettura piccola e agile per i suoi spostamenti in città, così come uno studente può decidere di muoversi su una station wagon.
- Mobilità in nuovo assetto: negli ultimi anni, i cosiddetti mercati BRIC (Brasile, Russia, India e Cina), in forte espansione, hanno fortemente contribuito alle emissioni di CO₂, a causa della massiccia adozione di mezzi per il trasporto privato, prima assenti in quelle zone.

Inoltre, è necessario tenere conto di moltissimi altri fattori caratterizzanti la nostra società. In primis, l’età media, che soprattutto nei paesi occidentali sta aumentando, senza però influire sulle attività. Si parla di fenomeno di downaging, secondo il quale ci si attribuisce un’età minore di quella anagrafica, e che stimola a utilizzare la terza fase della vita come nuova opportunità e non come fase di riposo.

Insieme, è necessario considerare i trend relativi alle persone con forte potere di acquisto che, oggi, non associano più il lusso ai beni extracostosi e alla loro abbondanza, quanto più alla singolarità del pezzo scelto (“su misura”) e al tempo a disposizione, ovvero scegliere cosa fare e quando farlo. Insieme, Si affaccia un nuovo tipo di comunità familiare: la possibilità di utilizzare cellulari, internet, social network per comunicare rende più semplice raggiungere tutti, stando seduti alla propria scrivania o sul proprio divano.

E inoltre, le necessarie azioni intraprese dai centri urbani per limitare l’inquinamento dell’aria, che portano a limitare l’uso dell’auto privata all’interno della città.

Si delinea un mercato, per il prossimo 2020, in cui l’utenza occidentale sarà dunque sempre più attenta alla tematica ambientale e insieme desidererà un servizio “ad hoc”, quindi non più autovetture “standard”, ma capaci di soddisfare, in un certo senso, in singolo bisogno.

Dall’altro lato, i nuovi mercati, che andranno a sostituire la tipologia di richiesta finora avuta nei paesi della triade (Nord America, Giappone, Europa occidentale).

Va da sé che il settore automobilistico, e, più in generale, il settore dei trasporti saranno chiamati a dare un segnale di cambiamento nei prossimi anni.

Per quanto riguarda l’autovettura, non si può non ricordare come già negli anni ottanta si fosse iniziato a parlare di auto elettriche, soluzione che poi, per limiti tecnologici e scarsa spinta del mercato, ancora poco motivato, non hanno avuto diffusione né sviluppi.

Attualmente, a fianco della soluzione ibrida, che fortunatamente sta avendo una diffusione più ampia, l’applicazione a più basso impatto ambientale, seppure ancora basata su fonte fossile, è quella dell’alimentazione a metano. Anche in questo caso, però, è da precisare che le difficoltà non mancano, a causa della scarsa diffusione di stazioni di rifornimento su territorio nazionale.

E' dunque necessaria, così come per la totalità dell'approvvigionamento energetico, una diversificazione dei combustibili per la trazione, specie in Italia, paese nel quale si rivela la più elevata numerosità del parco auto rispetto al resto d'Europa, così come il numero dei veicoli motorizzati a 2 ruote.

La soluzione non è immediata e prevede una strategia complessa, relativa alle diverse infrastrutture.

La disponibilità di una rete ferroviaria potenziata negli ultimi anni, e dotata di stazioni di interscambio moderne facilita il trasporto delle persone sul territorio, tramite un mezzo che possa competere, sul tempo tra partenza e arrivo, con il trasporto aereo, da destinare solo al traffico su tratte più lunghe.

Contemporaneamente, l'impossibilità di una rete ferroviaria capillare, data l'orografia nazionale, rende inevitabile il trasporto merci su gomma, insieme a quello marittimo.

Ritornando al trasporto urbano, oltre alle considerazioni già fatte, si può riflettere sui segnali di cambiamento già dati da qualche tempo: macchine sempre più piccole, servizi di informazione in tempo reale su traffico e mobilità pubblica e progressivo abbandono dei piccoli distributori di carburante in città, segnale di un cambiamento anche da parte delle compagnie petrolifere.

La tendenza attuale è infatti quella di avere grandi stazioni di servizio su strade periferiche o extraurbane, dotate non più solo del punto di rifornimento, ma anche di disparati servizi all'utenza, compreso uno shopping rapido a prova di sosta veloce.

Si rinnova anche la veste della stazione di servizio, che, oltre al restyling del brand aziendale, vede le fonti rinnovabili nel suo contesto: si tratta di un ottimo veicolo di marketing nonché di un'opportunità per avere energia a basso costo su un centro di consumo di non poca rilevanza.

Oltre al fotovoltaico, ormai presente sulle pensiline di tutte le stazioni di servizio, l'Unione Petrolifera ha raccolto diverse proposte tramite bandi progettuali diffusi in varie università. Il risultato è stato un ampio parco di proposte, comprendenti le più disparate soluzioni tecnologiche, impiantistiche e strutturali, votate all'uso efficiente dell'energia nonché alla sua produzione da fonti rinnovabili.

Si è trattato chiaramente di un primo passo: la stazione di servizio, oggi, deve essere pronta a far parte di un sistema smart di mobilità e di diffusione dell'energia.

2 Auto elettriche nel sistema elettrico nazionale

In base alle previsioni più recenti, il mercato dell'auto elettrica è destinato a rappresentare il 10% circa del mercato mondiale entro il 2015.

In Italia, il progetto dell'auto elettrica del futuro è portato avanti da un team di aziende, come Fiat, Brembo, Pininfarina, Piaggio, Dallara, Eni ed Enel, supportate da enti di ricerca e Atenei, nonché dai Ministeri dell'Ambiente e dello Sviluppo Economico.

La possibilità di inserire sul mercato macchine elettriche, sebbene, come accennato nei precedenti capitoli, sia stato molto complicato se non impossibile, vede nella maturità tecnologia odierna il supporto necessario ad una diffusione più ampia.

Il restyling della rete elettrica in fase di realizzazione (o, quantomeno, il suo adattamento agli apporti da fonti rinnovabili), associato, oggi, alla diffusione di vetture di piccole dimensioni (ancora rare fino a 10-15 anni fa, quando l'auto elettrica non era un miraggio, ma non riuscì ad attecchire), quindi leggere e di bassa cilindrata, fa auspicare a concrete possibilità di penetrazione.

Negli allegati di questa sezione è possibile trovare un comunicato stampa di Toyota, nel quale si illustrano diverse proposte dello “Smart Mobility City 2011 Exhibit at Tokyo Motor Show”, e che passano dalla singola vettura fino ad un sistema più complesso per l'integrazione dei veicoli elettrici e ibridi all'interno della città, in un contesto di smart mobility, appunto.



Figura 6 - La concept car elettrica Fiat

2.1 Scenario di penetrazione delle auto elettriche al 2030

Più nel dettaglio, nell'analisi di scenario considereremo sia auto completamente elettriche ("PEV" – Plug in Electric Vehicles), sia auto ibride ("PHEV" – Plug-in Hybrid Electric Vehicles), la cui batteria può essere ricaricata sia dalla rete (come le PEV), sia da un motore a combustione interna presente a bordo. Assumiamo inoltre che si sviluppino due generazioni di auto elettriche: la prima ("PEV1" e "PHEV1"), sul mercato dal 2010 al 2020 e caratterizzata da una relativamente bassa penetrazione, e la seconda ("PEV2" e "PHEV2"), caratterizzata da migliori prestazioni e quindi da una superiore penetrazione, sul mercato dal 2017 al 2030. Complessivamente, nello scenario considerato, alla lenta crescita iniziale, che porta le auto elettriche ad un 3% circa del parco auto al 2020, segue un'acrescita più rapida, fino a raggiungere il 25% del parco auto al 2030. Con la tecnologia attuale, le batterie delle auto PEV consentono un'autonomia che si aggira attorno a 150 km: come evidenziato in precedenza, tali auto sono quindi adatte ad un uso tipicamente urbano. Al contrario, le auto ibride PHEV, caratterizzate da una superiore autonomia garantita dal motore a combustione interna, sono molto più versatili, potendo essere utilizzate anche su percorsi extra-urbani. Per tale ragione, nello scenario considerato si assume una penetrazione delle auto PHEV significativamente superiore alle PEV, in una proporzione 80% PHEV1 / 20% PEV1 per le auto di prima generazione, e 70% PHEV2 / 30% PEV2 per le auto di seconda generazione, in cui le PEV2 dispongono di batterie di maggior capacità rispetto alle PEV1, la cui conseguente maggior autonomia consente loro una maggiore penetrazione sul mercato. Assumiamo inoltre che tutte le PEV1 siano auto piccole, appartenenti ai segmenti A e B, mentre tutte le ibride (sia PHEV1 che PHEV2) siano auto più grandi, appartenenti ai segmenti C e D. Riguardo alle PEV2, assumiamo che il 50% siano auto appartenenti ai segmenti A e B ed il 50% ai segmenti C e D. Definite le penetrazioni percentuali delle varie tipologie di auto elettriche, occorre definire la consistenza del parco auto complessivo fino al 2030, in modo da determinare di conseguenza il numero delle auto elettriche circolanti. A tale riguardo, ci si è basati sullo scenario demografico "centrale" ISTAT, che al 2030 prevede circa 62 milioni di abitanti. Inoltre, estrapolando il trend attuale del numero di abitanti per auto, al 2030 si raggiungerebbe un valore di circa 1,55, da cui conseguirebbe un parco complessivo di circa 40 milioni di auto, di cui quindi 10 milioni elettriche, con la ripartizione tra le diverse tipologie. Cautelativamente, per tenere conto dei maggiori consumi che si hanno in un ciclo reale (dovuti a riscaldamento / condizionamento, luci, ecc.), i valori relativi al ciclo standard sono

stati incrementati dividendoli per un fattore 0,9. Infine, scontando il continuo progresso tecnologico nel campo delle batterie, che porterà ad incrementi della densità energetica specifica, e quindi a potenziali riduzioni di peso del veicolo, assumiamo una riduzione dei consumi specifici delle auto di circa l'1% annuo fino al 2030, raggiungendo 116 Wh/km per le auto dei segmenti A e B e 167 Wh/km per le auto dei segmenti C e D. E' mostrato di seguito il prospetto dei consumi per segmento:

Segmento	Consumo attuale Ciclo standard [Wh/km]	Consumo attuale Ciclo reale [Wh/km]	Consumo 2030 Ciclo reale [Wh/km]
A-B	125	139	116
C-D	180	200	167

Si noti che:

- le auto ibride, com'è ovvio, hanno percorrenze superiori alle auto puramente elettriche, disponendo di un'autonomia molto maggiore;
- le auto con autonomie superiori, sono caratterizzate da percorrenze superiori alle auto di prima;
- al crescere dell'età media del parco, le percorrenze diminuiscono.

Una volta definita la percorrenza media annua, per le auto ibride si assume quale frazione ("utility factor"), venga percorsa con la sola energia elettrica prelevata dalla rete, senza fare ricorso al motore combustione interna Il consumo annuo è a 17,5 TWh, (18,7 TWh includendo le perdite di rete).

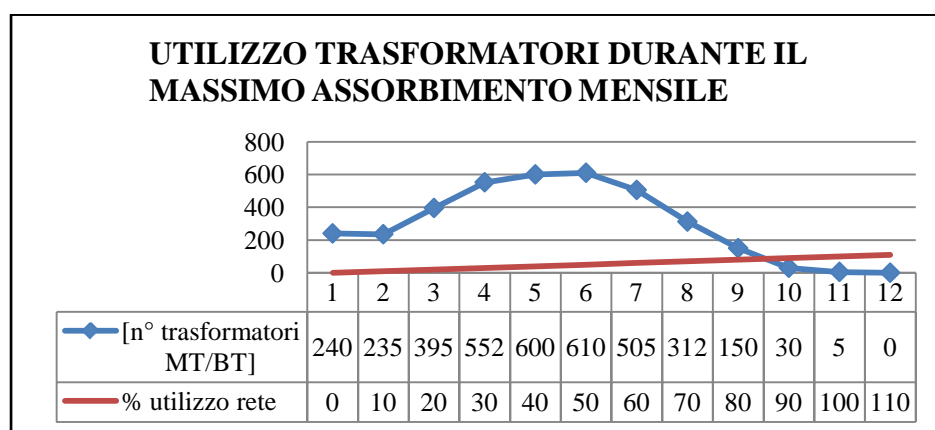


Grafico 1- Curva di distribuzione dell'utilizzo dei trasformatori MT/BT nel mese di Luglio 2010 (Fonte: Rapporto 2011 della RSE-Ricerca Sistemi elettrici)

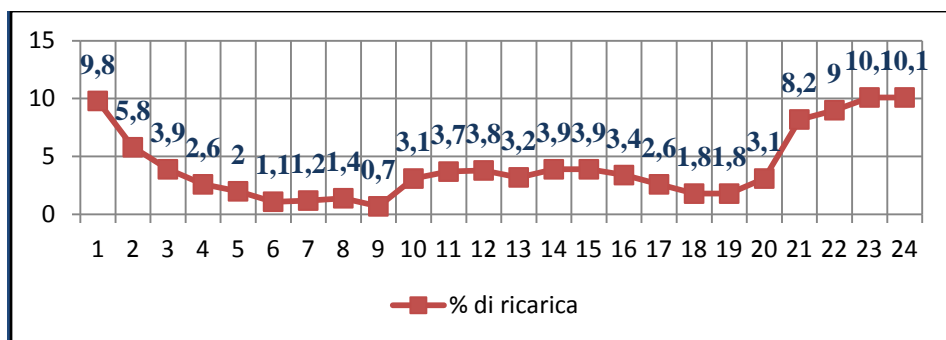


Grafico 2- Profilo orario di ricarica medio del parco EV considerato, nel caso di gestione intelligente” (Fonte: Rapporto 2011 della RSE-Ricerca Sistemi elettrici)

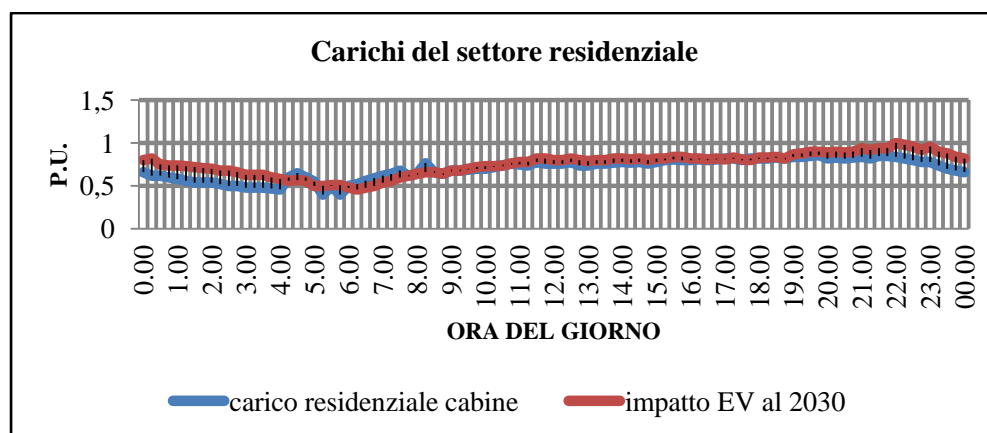


Grafico 3- Diagramma giornaliero alla punta di carico annuale per cabine al 2030 (rosso) (Fonte: Rapporto 2011 della RSE-Ricerca Sistemi elettrici)

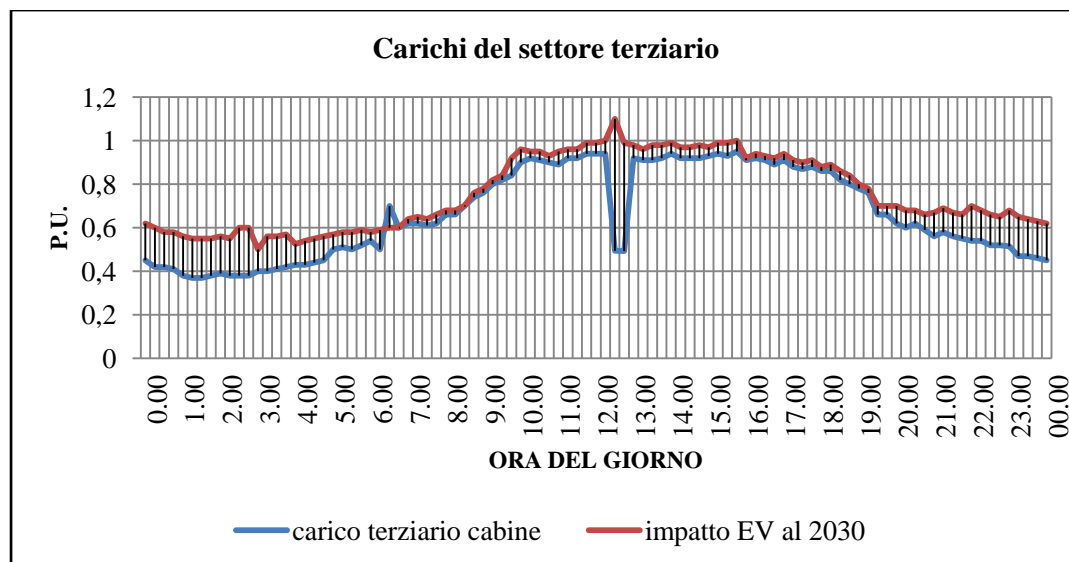


Grafico 4- Diagramma giornaliero alla punta di carico annuale per cabine al 2030 (Fonte: Rapporto 2011 della RSE-Ricerca Sistemi elettrici)

2.2 Profili di ricarica

La domanda di energia elettrica annua così determinata deve essere ripartita a livello orario, definendo in tal modo il profilo di ricarica medio del parco. Si tratta innanzitutto di determinare:

- quante auto elettriche potranno disporre di un posto auto privato attrezzato, utilizzabile per la ricarica notturna;
- quante auto elettriche dovranno necessariamente far ricorso ad infrastrutture di ricarica pubbliche, utilizzate prevalentemente nelle ore diurne.

A questo riguardo, si è determinata la distribuzione delle auto elettriche nelle varie province in base a tre fattori, ai quali si è attribuito lo stesso peso:

- la consistenza del parco auto di ciascuna provincia nel 2009 (fonte: ACI [7]);
- il PIL pro-capite di ciascuna provincia nel 2008 (fonte: Unioncamere [8]);
- il numero medio di superamenti del limite per la protezione della salute umana previsto per il PM10 nei comuni capoluogo di provincia nel periodo 2003÷2009 (fonte: ISTAT)

Il criterio utilizzato intende tenere conto del fatto che il numero di auto elettriche in ciascuna provincia sarà legato al numero totale di auto e sarà condizionato sia dalla disponibilità economica (le auto elettriche saranno ancora per un tempo non breve più costose delle auto convenzionali), sia dalla qualità dell'aria che, se scarsa, potrebbe determinare l'implementazione di un sistema di vincoli/incentivi in grado di favorire la penetrazione delle auto elettriche. Con tale criterio, ad esempio, la provincia di Milano ospiterebbe l'11,2% delle auto elettriche, a fronte del 6,2% del parco auto 2009, mentre nella provincia di Roma le due percentuali risulterebbero, rispettivamente, il 10,9% rispetto al 7,7%. Veniamo quindi a determinare il numero di abitazioni che al 2030 disporranno di almeno un posto auto privato. Lo studio di fonte ISTAT , partendo dalle previsioni Eurostat del 2008 sull'evoluzione della popolazione ed assumendo la continuazione del trend declinante del numero di persone per famiglia, stima al 2030 circa 29 milioni di famiglie. Rispetto ai circa 22 milioni di abitazioni occupate del 2001, sarà quindi necessario disporre di circa 7 milioni di abitazioni in più. Nel 2001, la superficie media di un'abitazione era di circa 95 m², mentre il numero medio di componenti per famiglia era pari a 2,59. Lo studio ISTAT assume per il 2031 2,11 componenti per famiglia; assumendo inoltre che la superficie delle abitazioni sia proporzionale al numero di componenti per famiglia, dai 95 m² del 2001 si passerebbe a circa 77 m² per le nuove abitazioni del 2031, corrispondenti ad un volume di circa 209 m³. La legge n. 122/89 stabilisce che “nelle nuove costruzioni ed anche nelle aree di pertinenza delle costruzioni stesse, debbono essere

riservati appositi spazi per parcheggi in misura non inferiore ad un metro quadrato per ogni dieci metri cubi di costruzione”. Assumendo $12,5\text{m}^2$ per ogni posto auto, ne risulta che è ragionevole assumere che tutte le nuove abitazioni costruite fino al 2030 disporranno di almeno un posto auto. Nel caso parte (presumibilmente ridotta) dei suddetti 7 milioni di abitazioni in più rispetto al 2001 sia costituito non da abitazioni nuove, ma da abitazioni già esistenti al 2001 e non occupate, si estende anche a queste ultime l’ipotesi di almeno un posto auto per abitazione.

Quindi, provincia per provincia:

- 1) si calcolano le abitazioni occupate al 2030, ripartendo i sopra citati 29 milioni di abitazioni secondo la stessa ripartizione provinciale delle abitazioni occupate al 2001 (dati ISTAT);
- 2) per differenza rispetto al 2001, si calcolano quindi le nuove abitazioni che, come detto in precedenza, assumiamo tutte dotate di almeno un posto auto;
- 3) sommando il valore determinato al punto 2) alle abitazioni occupate con posto auto del 2001 (dati ISTAT), si ottiene il numero di abitazioni occupate con posto auto al 2030;
- 4) si calcola quindi il parco auto 2030, ripartendo per provincia i 40 milioni di auto previsti, secondo la stessa ripartizione provinciale del parco auto attuale (dati ACI);
- 5) rapportiamo al parco auto 2030 il numero di auto elettriche per provincia determinato come descritto in precedenza, individuando la penetrazione percentuale delle auto elettriche;
- 6) considerando che chi disporrà di un posto auto attrezzabile per la ricarica sarà più incentivato ad acquistare un’auto elettrica, si assume che la percentuale di penetrazione delle auto elettriche nei posti auto sia superiore (in particolare del 20%) alla percentuale di penetrazione nel parco auto complessivo;
- 7) si assume inoltre che ogni famiglia (a cui è associata un’abitazione) disponga al più di un’auto elettrica: in tal caso, il numero massimo di posti auto disponibili per la ricarica notturna delle auto elettriche corrisponde al numero di abitazioni con posti auto sopra determinato;
- 8) moltiplicando la percentuale di penetrazione delle auto elettriche nei posti auto determinata al punto 6) per le abitazioni con posto auto al 2030 determinate al punto 3), si ottiene il numero di auto elettriche dotate di posto auto, che quindi potranno usufruire della ricarica notturna e, a complemento, il numero di auto che dovranno necessariamente ricorrere alle infrastrutture di ricarica pubbliche.

In base a tali assunzioni, risulta che della domanda elettrica ascrivibile alle auto elettriche, al massimo due terzi (66,7%) potrebbero essere allocati nelle ore notturne, mentre come minimo nelle

ore diurne occorrerebbe allocarne un terzo (33,3%). Mantenendo tale ripartizione giorno/notte, il profilo orario di ricarica è stato quindi determinato come inversamente proporzionale alla distribuzione oraria degli spostamenti in auto a Milano e nel suo hinterland riportata in e mostrata in , ottenendo il “Profilo 1” mostrato .Si noti peraltro che, in media, ciascuna auto elettrica percorrerà quotidianamente una distanza significativamente inferiore alla sua massima autonomia, per cui necessiterà solo di qualche ora per ricaricarsi completamente. Inoltre, è plausibile ritenere che la maggioranza dei proprietari di auto elettriche che dispongano di un posto auto possa mettere in carica la propria auto non appena giunta a casa la sera, concentrando in tal modo il picco della domanda elettrica nella sera e nelle prime ore della notte. In assenza di un sistema “intelligente” di controllo dell’infrastruttura di ricarica, coadiuvato da opportuni incentivi / disincentivi di tipo tariffario, in grado di “spianare” il profilo di ricarica notturno come nel “Profilo 1”, si otterrebbe un diverso profilo, del tipo del “Profilo 2” mostrato .

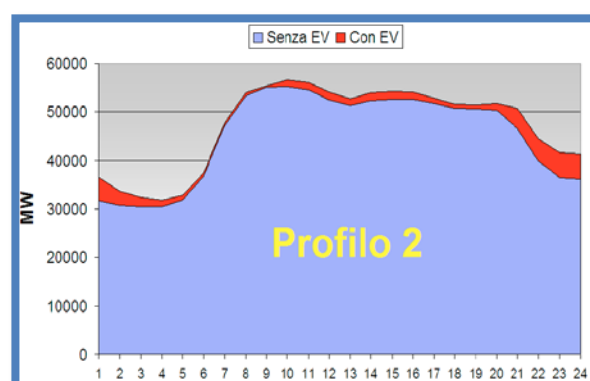
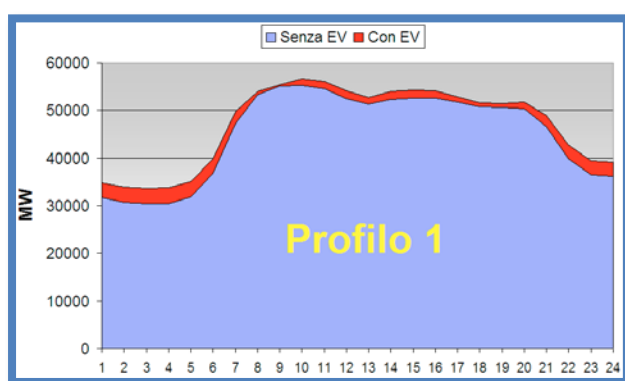


Figura 7- Impatto dei profili di ricarica considerati sulla domanda elettrica (periodo primaverile) nel 2030. (fonte: Ministero dei Trasporti 2010)

Figura 8- Impatto dei profili di ricarica considerati sulla domanda elettrica (periodo primaverile) nel 2030. (fonte: Ministero dei Trasporti 2010)

2.3 Modelli di simulazione

La valutazione di impatto è stata effettuata mediante due modelli di simulazione del sistema elettrico nazionale: MATISSE e MTSIM. Il modello MATISSE è basato sul generatore di modelli Markal-TIMES della ETSAP-IEA ed è stato sviluppato da RSE, in collaborazione con il Politecnico di Torino e con AIEE, al fine di analizzare scenari su un orizzonte temporale di lungo termine (fino al 2050), focalizzando l'attenzione sui principali driver (sviluppo economico, avanzamenti tecnologici, disponibilità e costi delle fonti primarie, vincoli ambientali, ecc.) al fine di supportare il processo decisionale dei policy maker e, più in generale, degli stakeholder del sistema elettrico. MATISSE è in grado di combinare vincoli energetici, socio-economici ed ambientali di scenari definiti dall'utente, al fine di determinare lo sviluppo ottimo (in termini di minimo costo complessivo) del sistema elettrico, sia sul lato della domanda, mettendo in competizione diverse tecnologie di uso finale al fine di fornire i servizi energetici richiesti¹, sia sul lato dell'offerta, mettendo in competizione diverse tecnologie di generazione disponibili per soddisfare la domanda, su un orizzonte temporale di alcune decine d'anni. I dati di input del modello sono essenzialmente informazioni su disponibilità e costi delle fonti primarie di energia, le caratteristiche tecniche delle tecnologie presenti e future di domanda e di offerta (costi di investimento e di O&M, efficienze, tassi di guasto, capacità installata all'anno iniziale, ecc.), la domanda di servizi energetici, i profili stagionali e giornalieri della domanda, gli obiettivi ed i vincoli ambientali, i potenziali di sviluppo delle fonti rinnovabili ed i relativi schemi di incentivazione, ecc. Le reti di trasmissione e di distribuzione, a diversi livelli di tensione, sono inoltre rappresentate in una maniera semplificata e possono essere espanse dal modello se ritenuto conveniente. MTSIM (Medium Term SIMulator), sviluppato da RSE è un simulatore di mercato elettrico zonale in grado di determinare il dispacciamento orario del parco di generazione ed il clearing del mercato su di un orizzonte temporale annuale, calcolando il prezzo marginale orario per ciascuna zona di mercato, i consumi di combustibile ed i costi di ciascun impianto termoelettrico, le emissioni di CO₂ (e di altri inquinanti) ed i relativi costi derivanti dai permessi di quote di mercato delle imprese di generazione modellate, così come i flussi di energia sulle interconnessioni tra le zone di mercato. MTSIM può modellare le strategie di offerta attuate dai partecipanti al mercato al fine di esercitare il proprio potere di mercato e può inoltre determinare, se richiesto, lo sviluppo ottimo (in termini di minimo costo complessivo) della capacità di interconnessione tra le zone di mercato della rete di trasmissione. MTSIM può essere utilizzato in maniera sinergica con MATISSE: i risultati di quest'ultimo, in termini di

evoluzione a lungo termine del sistema di generazione, possono essere usati come input per il primo che, focalizzandosi su di un anno specifico, può simulare l'esercizio del sistema elettrico in una maniera più accurata e dettagliata. Questo è esattamente il tipo di interazione tra i due modelli adottato nel presente studio: negli scenari considerati, MATISSE è stato utilizzato per determinare il parco di generazione al 2030, il cui esercizio è stato, successivamente, definito da MTSIM. Le simulazioni sono state effettuate con e senza la domanda derivante dalle auto elettriche, allo scopo di valutare l'impatto della loro penetrazione mettendo a confronto i risultati dei due casi.

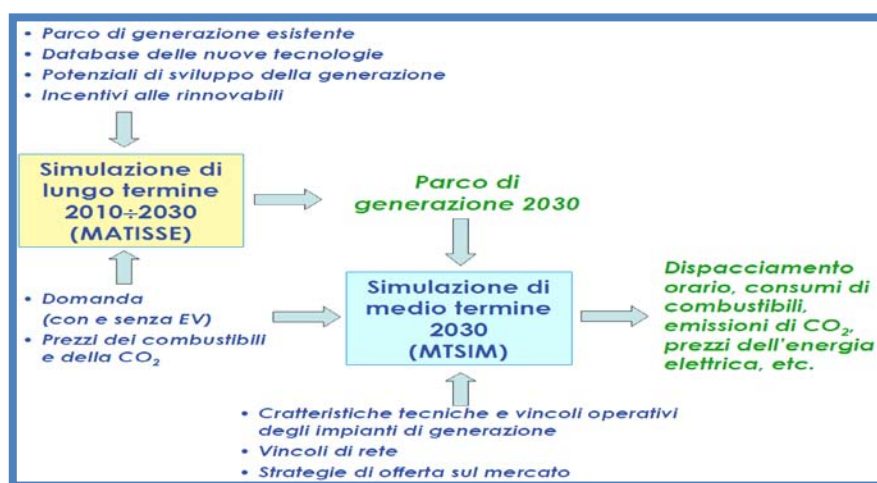


Figura 9 - Interazione tra i modelli di simulazione utilizzati per lo studio

2.4 Assunzioni di scenario

Come detto in precedenza, al fine di valutare l'impatto della penetrazione delle auto elettriche sul sistema elettrico nazionale, dal punto di vista operativo, economico ed ambientale, si sono messi a confronto i risultati di due simulazioni di scenario: una (denominata "Con EV" nel seguito), caratterizzata dalla penetrazione delle auto elettriche descritta in precedenza, ed un'altra (denominata "Senza EV" nel seguito), che non considera alcuna penetrazione. Il primo dei due scenari, inoltre, è stato suddiviso in due sotto-scenari, caratterizzati ciascuno da uno dei due profili di ricarica sopra definiti. A parte la domanda di energia dovuta alle auto elettriche, tutti gli scenari considerati condividono lo stesso insieme di assunzioni. In particolare, è stato preso come riferimento lo scenario "Green" sviluppato da RSE nell'ambito del progetto di ricerca SUSPLAN (PLANning for SUSTainability), che ha avuto inizio nel 2008 nell'ambito del Settimo Programma Quadro dell'Unione Europea ed è sponsorizzato dalla Direzione Generale Trasporti ed Energia (DG-TREN) della Commissione Europea. SUSPLAN mira a definire soluzioni alle sfide energetiche ed ambientali che la Comunità Europea dovrà fronteggiare, con particolare riguardo a strategie di sviluppo, raccomandazioni e benchmark finalizzati all'integrazione delle fonti rinnovabili su di un orizzonte 2030-2050. A tale scopo, il progetto prevede l'elaborazione e l'integrazione di studi di scenario sullo sviluppo delle fonti rinnovabili, focalizzati su nove diverse regioni europee, una delle quali è l'Italia. Gli scenari di SUSPLAN sono definiti in accordo a diverse storyline, caratterizzate da diversi livelli di sviluppo della generazione, della rete e delle tecnologie di uso finale, così come da una differente attenzione per le fonti rinnovabili e per l'ambiente, sia da parte della popolazione che nelle attività economiche. In questo quadro, lo scenario "Green" preso a riferimento per il presente studio, mostra un veloce sviluppo tecnologico e si identifica in un atteggiamento positivo verso le fonti rinnovabili e verso uno sviluppo sostenibile. In particolare, quindi, rispetto agli altri scenari considerati in SUSPLAN, esso risulta caratterizzato da:

- una bassa domanda di energia elettrica,
- un'elevata penetrazione delle fonti rinnovabili,
- bassi prezzi dei combustibili fossili
- bassi prezzi dei permessi di emissione di CO₂
- un'elevata penetrazione delle tecnologie di Carbon Capture and Storage (CCS),
- nessuno sviluppo dell'energia nucleare.

In particolare, la ragione principale per cui lo scenario “Green” di SUSPLAN è stato selezionato per il presente studio è il suo basso livello di domanda di energia elettrica, cosicché la domanda aggiuntiva dovuta alle auto elettriche, costituendone una frazione più elevata, ha modo di mostrare con maggiore evidenza il suo impatto. Nel seguito sono forniti ulteriori dettagli riguardo:

- la domanda di energia elettrica,
- i prezzi dei combustibili fossili e dei permessi di emissione di CO₂
- i potenziali di sviluppo delle fonti rinnovabili.

La domanda di energia elettrica si assume che evolva tenendo conto degli effetti delle azioni mirate a promuovere un incremento di efficienza energetica negli usi finali, secondo il Piano di Azione Nazionale per l’Efficienza Energetica , emesso nel Luglio 2007 dal governo italiano secondo quanto previsto dalla Direttiva Europea 2006/32/CE. Si può notare come , nonostante l’elevata penetrazione di auto elettriche che è stata assunta nel presente studio al 2030 (10 milioni di auto), la loro domanda annua corrisponda ad un aumento della domanda elettrica complessiva inferiore al 5%. Riguardo ai prezzi dei combustibili fossili sull’orizzonte temporale considerato, essi sono stati determinati indicizzandoli ai prezzi del petrolio e del carbone dello scenario “450” del World Energy Outlook (WEO) 2009 della International Energy Agency . Sono riportati sia i prezzi WEO 2009 che quelli ad essi indicizzati utilizzati nel presente studio. D’altro canto, i prezzi dei permessi di emissione di CO₂ sono stati presi dallo scenario “Reference” del WEO 2009. L’utilizzo dei bassi prezzi dei combustibili fossili dello scenario “450” e dei bassi prezzi dei permessi di emissione di CO₂ dello scenario “Reference” è consistente con la definizione dello scenario “Green” di SUSPLAN .

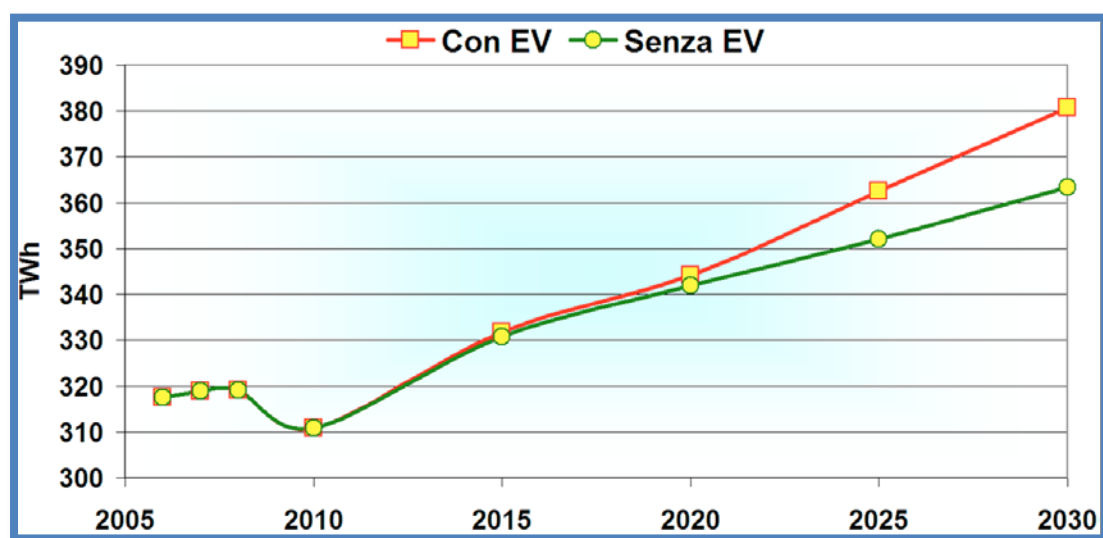


Figura 10 - Andamento della domanda elettrica per usi finali con e senza le auto elettriche considerata (fonte: MEGALIA FOUNDATION-Fondazione Megalia, Convegno 11-11- 2011)

	2020	2030
<i>Petrolio [\$2008/bbl] WEO 2009</i>	90	90
<i>Carbone [\$2008/t] WEO 2009</i>	80,1	64,8
<i>Gas naturale [€2008/GJ] Italia</i>	9,4	9,4
<i>Carbone [€2008/GJ] Italia</i>	2,3	1,9
<i>Olio combustibile [€2008/GJ] Italia</i>	8,2	8,2
<i>CO2 [\$2008/t] WEO 2009</i>	43	54
<i>CO2 [€2008/t]</i>	29,3	36,7

Tabella 1 - Potenziali delle fonti rinnovabili elettriche assunti nello studio (fonte: MEGALIA FOUNDATION-Fondazione Megalia, Convegno 11-11- 2011)

Potenziali RES [TWh]	2009	2020	2030
<i>Hydro esistente</i>	49,2	35,0	35,0
<i>Nuovo mini-hydro</i>	-	7,0	10,6
<i>Eolico onshore</i>	6,5	18,9	22,2
<i>Eolico offshore</i>	-	3,9	5,8
<i>Fotovoltaico</i>	0,7	6,7	10,0
<i>Solare termodinamico</i>	-	1,6	3,4
<i>Geotermico</i>	5,3	7,5	9,8
<i>RSU (fraz. biodegradabile)</i>	1,6	4,0	5,0
<i>Biomassa</i>	4,2	7,5	8,0
<i>Biogas</i>	1,7	3,2	3,2
Totale	69,3	95,3	113,0

Tabella 1- Prezzi dei combustibili fossili e dei permessi di emissione di CO2 assunti nello studio.

A confronto con la corrispondente produzione 2009 (anno caratterizzato da una storicamente elevata producibilità idroelettrica). Relativamente all'anno 2020, i potenziali assunti risultano complessivamente leggermente inferiori ai 98,9 TWh considerati nel Piano di Azione Nazionale (PAN) per le energie rinnovabili. Si è modellata una progressiva riduzione degli incentivi alle fonti rinnovabili, in seguito all'attesa riduzione del gap di costo tra la produzione delle tecnologie RES e quella dei cicli combinati, tecnologia fossile di riferimento per il sistema di generazione nazionale. Inoltre, le simulazioni effettuate con MTSIM, si sono aggiornati i valori attuali dei vincoli di trasmissione interzonali sulla base dei piani di sviluppo della rete predisposti da TERNA

2.5 Risultati delle simulazioni di scenario

Capacità installata	[GW] 2030
<i>Hydro esistente</i>	14,3
<i>Nuovo mini-hydro</i>	2,2
<i>Pompaggi</i>	7,1
<i>Eolico onshore</i>	12,0
<i>Eolico offshore</i>	1,9
<i>Fotovoltaico</i>	8,0
<i>Solare termodinamico</i>	1,0
<i>Geotermico</i>	1,3
<i>RSU (fraz. biodegradabile)</i>	1,5
<i>Biomassa</i>	1,5
<i>Biogas</i>	0,7
<i>Gas naturale</i>	42,7
<i>Carbone</i>	6,9
<i>Carbone con CCS</i>	4,7
<i>Olio e derivati</i>	1,3
Totale	107

Tabella 32- Composizione della capacità di generazione installata nel 2030 (fonte: MEGALIA FOUNDATION - Fondazione Megalia, Convegno 11-11- 2011)

Differenza di produzione [TWh]		
Tecnologia	Profilo 1	Profilo 2
<i>Ciclo combinato a gas</i>	12,0	13,6
<i>Carbone</i>	5,1	4,3
<i>Carbone con C</i>	1,0	0

Tabella 43- Differenza di produzione tra gli scenari con e senza la penetrazione delle auto elettriche (fonte: MEGALIA FOUNDATION-Fondazione Megalia, Convegno 11-11- 2011)

Consumi aggiuntivi di combustibili fossili dovuti alle auto elettriche		
Combustibile	Profilo 1	Profilo 2
<i>Gas naturale [Gm³]</i>	2,3	2,6
<i>Carbone [Mt]</i>	1,8	1,4

Tabella 5- Consumi aggiuntivi di combustibili fossili del sistema di generazione dovuti alle auto elettriche (fonte: MEGALIA FOUNDATION-Fondazione Megalia, Convegno 11-11- 2011)

Si può notare come la maggior parte del carico addizionale dovuto alle auto elettriche sia coperto da cicli combinati a gas naturale, ma con un non trascurabile contributo da parte di impianti a carbone, più elevato nel caso del “Profilo 1”. Si noti anche che la somma delle differenze di produzione riportate è leggermente inferiore all’incremento di domanda dovuto alle auto elettriche, perdite incluse (18,7 TWh): ciò è dovuto ad un minore utilizzo degli impianti idroelettrici di pompaggio negli scenari con auto elettriche. Riguardo alle emissioni di CO₂ del sistema elettrico, con la penetrazione di auto elettriche assunta esse aumentano di 8,2 Mt con il “Profilo 1” e di 8,3 Mt con il

“Profilo 2”. Il costo dei permessi di emissioni di CO₂ cresce quindi di circa 300 milioni di € in entrambi i casi. In termini di emissioni per kWh richiesto dalle auto elettriche (al netto delle perdite di rete), si tratta di 470 gCO₂/kWh con il “Profilo 1” e di 474 gCO₂/kWh con il “Profilo 2”. Dividendo le emissioni di CO₂ aggiuntive del sistema elettrico per i km percorsi dalle auto elettriche considerate, si ottengono le emissioni specifiche al km, pari a 75 gCO₂/km con il “Profilo 1” ed a 7 gCO₂/km con il “Profilo 2”. In Tabella 6 sono riportati i valori relativi alle auto appartenenti ai diversi segmenti.

Indice generale	2000	2005	2006	2007	2008	2009
	112,8	127,1	129,8	132,2	136,6	137,7

Numeri indice (base 1995=100)						
Spese di esercizio dei mezzi di trasporto	116,8	134,4	139,7	143,5	152,9	147,4
Acquisto pezzi di ricambio	105,4	112,2	114,2	115,8	118,3	120,0
Carburanti e lubrificanti	120,3	136,1	144,0	144,7	158,4	138,0
Manutenzioni e riparazioni mezzi di trasporto	117,9	140,8	145,9	151,7	159,3	166,0
Altri servizi relativi ai mezzi di trasporto	112,6	128,1	130,2	133,2	136,6	139,6
Servizi di trasporto	112,8	141,6	145,4	147,2	159,3	154,7
Trasporti ferroviari	111,7	121,3	121,5	130,2	138,5	145,2
Trasporti stradali	114,0	129,6	134,1	137,7	144,3	146,7
Trasporti aerei	97,1	143,5	145,3	138,9	162,5	141,4
Trasporti navali	119,0	146,1	158,3	169,4	182,3	195,6
Servizi di trasloco	121,6	135,7	139,8	144,6	148,5	150,9
Trasporti urbani	116,4	138,1	142,3	144,6	147,6	150,4
TOTALE Trasporti	114,3	130,8	134,7	137,7	144,9	141,7
Assicurazioni sui mezzi di trasporto	173,1	230,7	236,0	239,5	245,2	252,3
Altri beni e servizi	114,3	133,5	137,1	140,3	144,5	148,2

Tabella 6 - Indici dei prezzi al consumo in Italia per l'intera collettività, per i trasporti (Fonte: Ministero dello Sviluppo economico, dati 2009)

Impatto sui costi di combustibile [M€]				2008	2009
Costi di combustibile	Profilo 1	Profilo 2			
<i>Extra-costi di combustibile per la generazione elettrica</i>	850	934	Benzina senza piombo	1.380,92	1.214,83
<i>Risparmi sui consumi delle auto convenzionali sostituite</i>	2710	2710	Gasolio auto	1.344,29	1.066,86
Risparmi netti	1860	1776	GPL auto	680,60	561,25

Tabella 4(sinistra)- Impatto sui costi di combustibile degli scenari con la penetrazione delle auto elettriche (fonte: MEGALIA FOUNDATION - Fondazione Megalia, Convegno 11-11- 2011)

Tabella 5 (destra)- Prezzi medi annuali nazionali dei prodotti petroliferi utilizzati per i trasporti Prezzo al consumo (euro/1.000 litri)(Fonte: Ministero dello Sviluppo economico, dati 2010)

Le auto convenzionali sostituite avrebbero inoltre comportato maggiori emissioni di CO₂ rispetto a quelle determinate dalle auto elettriche: tali maggiori emissioni sarebbero state di 2,2 Mt con il “Profilo 1” e di 2,1 Mt con il “Profilo 2”. Se tali maggiori emissioni fossero state gravate da una carbon tax uguale al prezzo dei permessi di emissione riportato in Tabella 2, il risparmio consentito dalle auto elettriche sarebbe quantificabile in circa 80 milioni di €. Per quanto riguarda l’impatto economico a livello di sistema⁶, a parte le emissioni di CO₂, è possibile confrontare il costo del consumo aggiuntivo di gas naturale e di carbone nel sistema di generazione con il costo del gasolio e della benzina non consumati dalle auto convenzionali sostituite da quelle elettriche. In particolare, si assume che gli attuali (Gennaio 2011) prezzi industriali (0,64 €/l per la benzina e 0,676 €/l per il gasolio: si veda [19]) restino validi anche per lo scenario 2030 considerato, nel quale il prezzo del petrolio (90 \$/bbl) è assunto pari ai livelli attuali. Come mostrato nella Tabella 9, i risparmi sui costi

di combustibile sono significativi, essendo dell'ordine di 1,8 miliardi di €annui. Infine, si riportano i valori medi annui, pesati sulla domanda oraria complessiva, del Prezzo Unico Nazionale (PUN) che si determina sulla Borsa Elettrica negli scenari con e senza auto elettriche: si può notare come la penetrazione di auto elettriche considerata provochi un incremento del PUN di circa il 9%, pari a circa 7 €/MWh (a questo riguardo, non vi sono significative differenze tra “Profilo 1” e “Profilo 2”).

Prezzo Unico Nazionale [€/MWh]		
Senza EV	Con EV	D con vs. senza EV
76	83	7

Tabella 6- Impatto sul Prezzo Unico Nazionale (PUN) della penetrazione delle auto (fonte: MEGALIA FOUNDATION-Fondazione Megalia, Convegno 11-11- 2011)

2.6 Considerazioni riassuntive

Alla luce dei risultati delle simulazioni di scenario effettuate, si può concludere che anche una penetrazione di auto elettriche plug-in così elevata come quella considerata nel presente studio non ha un grande impatto sullo sviluppo e sull'esercizio del sistema di generazione, pur determinando effetti positivi sulle emissioni di CO₂ complessive, sui consumi di combustibili fossili e sui relativi esborsi economici. I principali benefici della mobilità elettrica sono quindi da ricercarsi nei risparmi economici legati ai consumi di combustibili, oltre che nella riduzione dei livelli di inquinamento dell'aria nelle aree urbane. Se l'impatto della penetrazione delle auto elettriche a livello di sistema è relativamente limitato, esso potrebbe risultare molto più significativo sulle congestionate reti di distribuzione delle grandi città, a causa del potenziale incremento della domanda elettrica residenziale durante le ore di picco serali, a cui dovrà necessariamente far fronte un'infrastruttura di ricarica “intelligente”. In questo contesto, RSE, nell'ambito della Ricerca di Sistema, sta portando avanti specifici studi sull'impatto dell'auto elettrica sia sulla qualità dell'aria, che sulle reti di distribuzione urbane.

3 Impatto sulla rete di distribuzione della ricarica dei veicoli elettrici

Di fondamentale importanza per lo sviluppo e la diffusione della mobilità elettrica è la presenza delle stazioni di ricarica nei luoghi in cui i clienti ne sentono maggiormente la necessità. L'esperienza maturata a livello mondiale indica che le EV inizieranno a diffondersi tra quei clienti che hanno a disposizione posti macchina privati; questo porterà inevitabilmente a un aumento dei transiti di energia sulle reti elettriche della distribuzione. Nel corso del 2009 si è proceduto ad una valutazione preliminare dell'impatto della mobilità elettrica sulle reti di distribuzione in bassa tensione, sulla base di alcuni modelli di rete semplificati e convenzionali (CIGRE, Dispower), rappresentativi di strutture di rete europee ed italiane urbane e rurali, con diagrammi di carico tipici europei (CIGRE), profili di ricarica prevalentemente notturna (derivati da EPRI) e tassi di penetrazione crescenti a step di 5%, dal 5% al 20% del parco circolante. Le simulazioni effettuate hanno consentito di verificare come i potenziali problemi di alimentazione delle colonnine di ricarica si situino non tanto nella caduta di tensione, quanto nel possibile sovraccarico in corrente delle linee e dei trasformatori di distribuzione. L'attività svolta nel 2010 è centrata sull'approfondimento di questo approccio con validazione su reti reali di distribuzione in bassa tensione. Per raggiungere questo obiettivo, si sono utilizzati i dati reali di 32 reti in bassa tensione di una grande città italiana. A partire da questi dati si sono condotte tre attività principali:

- a) Valutazione della Hosting Capacity (HC) di mobilità elettrica delle reti BT considerate, attraverso metodologia semplificata (procedura e strumento software sviluppato appositamente denominato MaRe Margine Rete), che prescinde dalla modularità del tempo di ricarica.
- b) Valutazione della *time-dependent Hosting Capacity (tdHC)* che tiene conto, attraverso simulazioni di rete più complete (su codice DigSilent), della possibile modularità della ricarica
- c) Analisi della qualità dell'energia in presenza di ricarica modulabile e di generazione diffusa anche di tipo rinnovabile non programmabile.

3.1 Impatto della diffusione delle EV sulla cabine MT/BT attraverso metodologia semplificata

Per questa analisi si sono utilizzati i dati provenienti dal sistema di monitoraggio delle cabine MT/BT di una grande città italiana. Tale sistema è in grado di fornire i diagrammi di carico di oltre 3.500 trasformatori delle circa 5.700 cabine diffuse su tutto il territorio cittadino e permette di individuare i trasformatori con maggior rischio di sovraccarico, consentendo di programmare gli interventi di adeguamento necessari a evitare eventuali sovraccarichi dovuti alla crescente richiesta di energia elettrica da parte dei clienti o per i nuovi insediamenti. Questo sistema di monitoraggio è utile anche ai fini della valutazione dell'impatto della diffusione delle EV sulla rete di distribuzione BT, infatti permette di ricavare la curva riportata in, che rappresenta in modo sintetico ed aggregato, la situazione attuale della rete di distribuzione della grande città considerata, in termini di numero dei trasformatori MT/BT che raggiungono un determinato picco massimo di utilizzo in ciascun mese. Per valutare l'impatto della diffusione delle EV sulle reti elettriche della distribuzione, si è sommato il diagramma di carico relativo alle reti BT, con il profilo orario di ricarica medio del parco EV, individuato nel capitolo precedente per la ricarica "intelligente", ovvero la ricarica concentrata alla sera e nelle prime ore della notte. Tale profilo, indica la potenza richiesta alla rete di distribuzione in termini percentuali rispetto alla potenza complessiva degli accumulatori installati sulle EV che si ricaricano sulla rete BT considerata. Ai fini del presente studio, il profilo di ricarica delle EV è stato parametrizzato in relazione al numero medio di EV che potrebbero essere ricaricate su ciascuna cabina MT/BT. In pratica si sono considerati due possibili scenari di diffusione delle EV, che si ritiene possano rappresentare uno scenario di diffusione corrispondente a circa il 10% di EV del totale di auto (1.106.000) previste circolanti nella grande città considerata nel 2020 (ovvero 110.600 EV), a circa il 20 % di EV sul totale di auto circolanti (1.160.000) nel 2030 (ovvero 232.000 EV). Con queste assunzioni, ciascuna cabina MT/BT della grande città considerata risulterà mediamente interessata da 18 EV nel 2020 e da 36 EV nel 2030. La figura che riporta il diagramma di carico (in per unità p.u.) nel giorno di massimo carico annuale di una cabina situata in un quartiere a carico prevalentemente residenziale (blu) con sommato il diagramma di carico risultante dalla penetrazione di EV attesa in uno scenario 2030 (rosso), mentre sono rappresentate anche le curve equivalenti per una cabina con carico prevalentemente terziario. Noto l'incremento di carico di picco e la curva di utilizzo dei trasformatori riportata, si è determinato il numero di cabine che in ciascun scenario,

possono raggiungere o superare il 100% di utilizzo dei trasformatori. L'analisi ha evidenziato che, per lo scenario al 2020, gli interventi di adeguamento dovrebbero interessare i soli trasformatori con grado di utilizzo superiore al 93%, nelle reti con carico prevalente residenziale (ovvero l'1% dei trasformatori), e con un grado di utilizzo superiore al 97% nel caso di reti con carico prevalentemente terziario (0,5% dei trasformatori). Nello scenario al 2030 (36 auto per cabina), l'adeguamento della rete dovrebbe interessare i trasformatori con grado di utilizzo superiore all'86%, con carico residenziale (2,5% dei trasformatori), e superiore al 94% con carico terziario (1% dei trasformatori).

3.2 Impatto della diffusione delle EV su dorsali e prese

L'analisi fin qui esposta ha considerato una diffusione media di EV per cabina dando informazioni utili per una idea di massima del problema, ma non il dettaglio di ciò che potrebbe riguardare i componenti della rete a valle dei trasformatori, ovvero le dorsali e le prese. Questa valutazione è stata resa possibile acquisendo il monitoraggio dei clienti afferenti ad un campione di reti elettriche BT della grande città considerata, resa possibile dall'infrastruttura dei contatori elettronici. Una metodologia è stata messa a punto per valutare la potenziale *hosting capacity*, ovvero la numerosità di EV che potrebbero essere ricaricate su ogni presa, dorsale o trasformatore sia in modalità di ricarica “non controllata” (NC), sia in modalità di ricarica “controllata” (*Smart Charge* - SC). Per modalità di carica NC si intende il numero di EV che potrebbero essere ricaricate nelle ore di punta settimanale ad una fissata potenza di ricarica (si considera quindi il margine di rete in potenza). Per modalità SC si intende il numero teorico di EV che potrebbero afferire ad ogni presa, dorsale o trasformatore sfruttando tutta la capacità di transito residua: in questo caso si intende il margine integrato su un periodo temporale di una settimana. La conoscenza del numero di EV che possono essere ricaricate su una porzione di rete in modalità SC permette di valutare la diffusione di EV oltre la quale anche il più sofisticato sistema di controllo risulterebbe inefficace, quindi sarebbe inevitabile potenziare la rete. Per ciascun cliente BT delle reti interessate dallo studio, si sono acquisite le curve orarie di prelievo di energia attiva e reattiva per il periodo di 168 ore, corrispondente alla terza settimana del mese di gennaio 2010 (dal 18 al 24), periodo tipicamente invernale caratterizzato dalla lontananza da festività. Il monitoraggio ha interessato 32 cabine MT/BT e 6.369 clienti di diversa tipologia contrattuale (trifase non domestico - TnD; trifase domestico - TD; monofase non domestico

- MnD; monofase domestico – MD). E' rappresentata numericamente la ripartizione dei clienti interessati dal monitoraggio raggruppati in funzione della tipologia contrattuale (TnD; TD; MnD; MD) e della potenza disponibile P_{disp} (ovvero la potenza contrattuale aumentata del 10%) divisa in 6 fasce: tra i clienti monitorati vi è una predominanza di clienti con contratto domestico da 3 a 6 kW di potenza impegnata (3,3-6,6 kW di potenza disponibile).

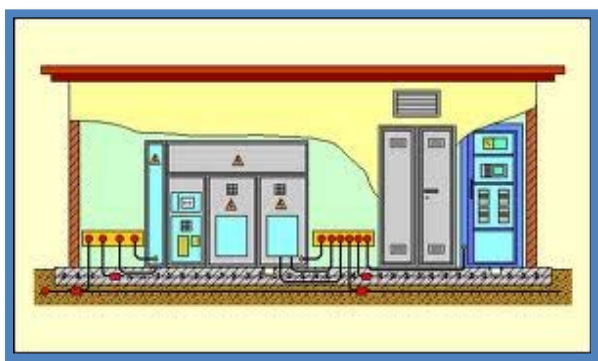


Figura 11 - Dorsale di una cabina MT/BT, con indicati i nodi di ciascuna dorsale a cui si allacciano le prese.

Ripopolamento del Database

Per valutare la “Hosting Capacity” per la ricarica delle auto elettriche è necessario avere delle curve di carico quanto più rappresentative delle condizioni reali di carico delle cabine MT/BT. Ai fini di questo studio si è reso necessario assegnare delle curve di domanda anche ai POD per i quali non erano disponibili le letture reali. Per creare curve rappresentative si sono utilizzati due approcci diversi (uno più sommario e uno più minuzioso) che sono stati in seguito confrontati al fine di vedere quale fosse il più adeguato. Il primo approccio è consistito nel suddividere i POD in quattro fasce di P_{disp} ($> 15kW$; $P_{disp} \approx 15kW$; $P_{disp} \approx 1.5 < 3kW$ e $< 1.5kW$) per ricavare i grafici cumulati per fascia ed ottenere il profilo dell'utente medio di ciascuna fascia da assegnare ai POD sprovvisti di registrazioni presenti in ciascuna fascia. Successivamente è stata condotta una ripopolazione più dettagliata. I POD sono stati suddivisi in 6 fasce e per ciascuna fascia si è stabilito il profilo in p.u. (per unità), in base al maggior numero di contratti presenti con la stessa Potenza Disponibile (P_{disp}) come riportato di seguito. A partire dalle registrazioni totali di potenza attiva disponibili per la P_{disp} più significativa di ciascuna fascia e per ciascuna tipologia di utente (monofase, trifase, domestico e non domestico), è stato possibile ricavare il profilo in p.u. di ciascuna fascia con la seguente relazione:

$$\text{Profilo p. u.} = \frac{\Sigma kW}{n^{\circ} \text{ tracce POD} \times P_{disp}}$$

Questi profili sono stati in seguito attribuiti ai POD sprovvisti di registrazioni ripopolando la tabella delle curve di prelievo di energia attiva del Database. La figura 12 mostra schematicamente la sequenza adottata:

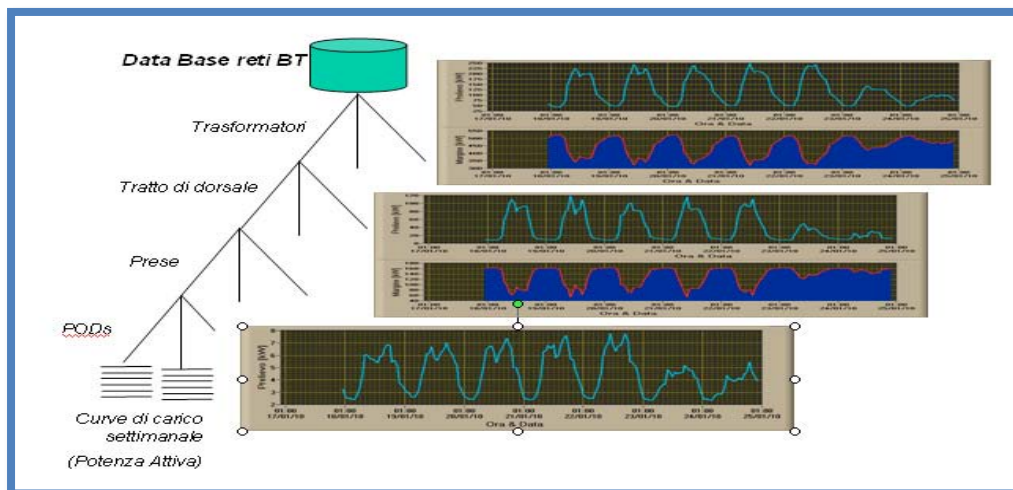


Figura 12 -Andamento della sequenza schematica

4 Soluzione Smart- Grids

Ai fini della pianificazione di rete, quindi, il margine in potenza dà indicazioni utili a stimare la diffusione di auto oltre la quale non è possibile permettere una ricarica NC non controllata. Nell'ipotesi di disponibilità della sola ricarica lenta (ad esempio a 3,3 o 6,6 kW), la semplice divisione del margine in potenza per la potenza di ricarica delle auto darebbe il numero di auto che possono ricaricarsi in modalità NC in ciascun tratto della rete. Il margine in energia dà indicazioni utili a stimare la diffusione di auto oltre la quale non è possibile permettere neppure una ricarica SC (Smart Charge). Per sfruttare appieno il margine in energia è necessario modulare la potenza massima che le EV possono prelevare dalla rete, quindi modulare i prelievi in potenza agendo sui punti di ricarica delle EV oltre che in ogni momento disporre di EV in grado di accumulare energia. E' quindi indispensabile che ciascun punto di ricarica sia controllato da remoto da un sistema di gestione dell'energia come potrebbe essere una *Smart Grid*, indichiamo quindi questa modalità come *Smart Charge*. In ultima analisi, dal margine in energia è possibile desumere la diffusione di EV oltre la quale anche il più sofisticato sistema di controllo risulterebbe inefficace, rendendo indispensabile il potenziamento della rete.

Capitolo 3

Formulazione di un modello per Smart Grid

Vista l'effettiva necessità di sviluppare uno strumento inter-operabile di supporto la progettazione di sistemi energetici efficienti a scala di distretto e considerati i validi spunti offerti dai modelli esistenti, si propone lo sviluppo di una piattaforma integrata in cui, i diversi moduli implementati possano assolvere sia le funzioni di calcolo che quelle di valutazione nel processo di progettazione. Tralasciando gli specifici algoritmi per l'elaborazione dei dati all'interno degli strumenti SG ed i protocolli per l'efficienza energetica nella pianificazione della “crescita intelligente” delle comunità, due elementi fondamentali potrebbero essere proposti per la nuova piattaforma: un modulo per l'analisi preliminare e un modulo per la simulazione dinamica.

Il primo dovrebbe essere finalizzato a fornire indicazioni di massima, sufficientemente affidabili, per la progettazione dei sistemi di generazione distribuita; il secondo dovrebbe consentire la corretta simulazione del sistema in regime dinamico, al fine di testare strategie di gestione, regolazione e controllo. Tale procedura renderebbe possibile una vera e propria ottimizzazione economico-ambientale dei distretti energetici, consentendo la messa in atto di importanti sinergie legate all'aggregazione delle domande di energia, all'uso di tecnologie di generazione efficienti, ai meccanismi di inter-scambio con la rete e allo stoccaggio di energia. Questo tipo di processo è schematicamente descritto nella figura successiva.

1. Funzioni del programma applicato al settore edilizio – applicazioni “statiche” (settori residenziale e terziario)

Si riporta un esempio di quali funzioni dovrebbe avere un programma di simulazione di una Smart-Grid applicata al settore residenziale o terziario.

1. **Rilevamento:** Smart Metering definisce una possibilità di registrare, elaborare e conteggiare il fabbisogno energetico dei consumatori in relazione alla disponibilità momentanea di elettricità proveniente da fonti rinnovabili. Questo consente di operare un'analisi più precisa

del consumo energetico. I consumatori possono così decidere meglio quando attingere corrente e scoprono quali apparecchi sprecano tantissima elettricità.

Elemento tecnologico associato: *programma software abbinato ad una centralina che trasmette al programma i dati necessari all' avviamento del sistema Smart-Grid.*

2. **Immissione:** La produzione di energia in centrali solari è soggetta a forti oscillazioni. La corrente in eccesso deve essere temporaneamente immagazzinata. I sensori e i contatori intelligenti costituiscono la base per attivare e disattivare i magazzini di corrente elettrica.

Elemento tecnologico: *elettrodomestico con accumulatore di elettricità capace di dosarne la quantità necessaria per l' immediato utilizzo, e di conservare la quota in eccesso per utilizzi futuri, in momenti in cui le fonti rinnovabili potrebbero risultare insufficienti alla soddisfazione alla richiesta di utenza*

Elementi degli apparati tecnologici necessari alla smart - Grid

Figura 1-Interfaccia esempio del programma software "Energy optimus", sviluppato e ideato nel presente capitolo

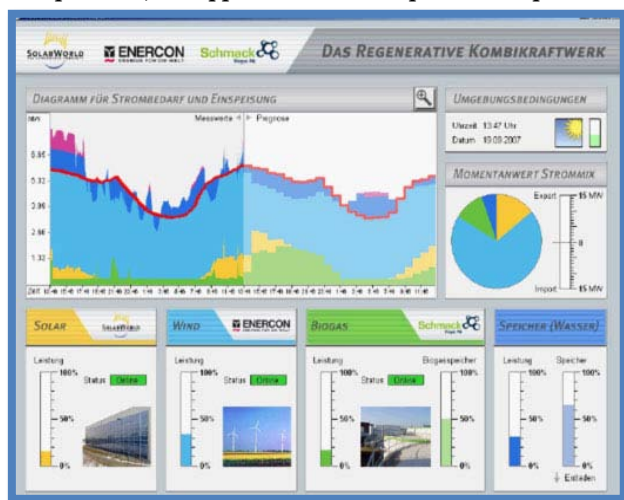


Figura 2-Centralina elettronica Smart - Meter , di esempio produzione Siemens



<i>Programma di simulazione dei risultati</i>	ENERGY OPTIMUS (VERSIONE HOUSE) (settore residenziale)
DESCRIZIONE	
<p>Programma per la valutazione di configurazioni impiantistiche con generazione elettrica e termica distribuita a scala di distretto, sia connesse alla rete elettrica che autonome. “Energy optimus” consente di svolgere un’analisi di ottimizzazione e parametrica per valutare la fattibilità tecnica ed economica di un notevole numero di opzioni tecnologiche, tenendo conto delle variazioni nei costi delle tecnologie e della disponibilità di risorse energetiche. Le tecnologie di generazione previste includono: solare fotovoltaico, turbine eoliche, mini/micro-idroelettrico, motori a combustione interna, microturbine e celle a combustibile per cogenerazione</p>	
INPUT AL PROGRAMMA	
<p>Curve di carico elettriche e termiche del settore residenziale con risoluzione temporale fino ad un minuto, efficienze e caratteristiche delle tecnologie, investimento iniziale, costi di esercizio e manutenzione, vincoli di emissione e parametri suscettibili di variazione (per analisi parametriche)</p>	
OUTPUT DEL PROGRAMMA	
<p>Ottimizzazione e analisi parametrica dei sistemi modellizzati, determinazione dei consumi e dei costi complessivi, valutazione delle emissioni</p>	
TIPO DI CALCOLO/ALGORITMO	
<p>Analisi semplificata con passo temporale di regolazione del funzionamento rispetto al profilo dei carichi elettrici oppure rispetto al ciclo di carica delle batterie qualora si abbia un sistema stand-alone</p>	
ALTRE ANALISI IN OUTPUT	
<p>Valutare la fattibilità tecno-economica ed effettuare il pre-dimensionamento di un sistema di generazione distribuita locale, date determinate condizioni di tipo economico ed ambientale. E’ utile nel caso si voglia svolgere una valutazione preliminare dell’impatto conseguente all’adozione di tecnologie di generazione distribuita su scala residenziale, sia a livello condominiale, di quartiere, urbano totale, e regionale.</p>	

<i>Programma di simulazione dei risultati</i>	ENERGY OPTIMUS (VERSIONE WORK STRUCTURE) (settore terziario)
DESCRIZIONE	
L'analisi svolta dal modello è di tipo orario ed è volta ad analizzare conseguenze di investimenti e strategie nel settore energetico, in relazione a regolamenti di tipo tecnico ed ottimizzazione economica. Il modello pertanto può essere usato con diversi scopi: analisi tecnica del possibile mix di fonti per servire una determinata domanda a scala territoriale, analisi di mercato degli scambi di energia, studi di fattibilità tecnica ed economica	
INPUT AL PROGRAMMA	
Curva di carico elettrica e termica oraria del settore terziario relativa all' ambiente interessato (esempio: caserme, centri sportivi, alberghi, ristoranti, scuole, uffici pubblici), dati climatici e dati di produzione energetica da fonti rinnovabili, valori di efficienza e caratteristiche delle tecnologie, investimento iniziale, costi di esercizio e manutenzione, vincoli di emissione e strategia di ottimizzazione	
OUTPUT DEL PROGRAMMA (dati elaborati dal software)	
Produzione energetica, costi complessivi ed emissioni, e valutabilità preventiva del costo energetico espresso con grafici di carico termico, ed elettrico risultanti dal supporto ,alla domanda dell' utenza, delle risorse	
TIPO DI CALCOLO/ALGORITMO	
Analisi oraria, analisi di ottimizzazione e parametrica. Sono contemplate quattro opzioni per soddisfare i fabbisogni elettrici e termici con ottimizzazione tecnica ed economica	
ALTRE ANALISI IN OUTPUT	
Valutare la fattibilità tecno-economica di progetti a scala urbana e di comunità di generazione distribuita, integrazione con fonti rinnovabili, adozione di tecnologie avanzate e produzione di idrogeno da fonti rinnovabili. Fornisce gli strumenti ed un metodo di analisi per la pianificazione energetica avanzata a scala di comunità sottolineando il vantaggio economico – energetico per la pubblica amministrazione , o per il bilancio di una grande società privata.	

2. Funzioni del programma applicato a mobilità (settore mobilità)

Le reti intelligenti future integreranno un numero maggiore di fonti energetiche rinnovabili e avranno bisogno di fornire vaste infrastrutture per la e-mobility.

Poiché entrambe richiedono un'ampia gamma di soluzioni di immagazzinamento dell'energia, sarà necessario implementare le potenzialità delle batterie delle auto elettriche, che potrebbe aiutare a costruire la necessaria capacità di stoccaggio e a fornire vantaggi ambientali ed economici di ampia portata.

L'idea di applicare le reti intelligenti al settore mobilità necessita dunque dei seguenti elementi:

1. **Accumulatori di energia rinnovabile:** l'energia generata dal vento e dal sole può essere raccolta nei sistemi di batterie di Volt e utilizzata al bisogno.
2. **Gestione del carico della rete:** sarà possibile utilizzare le batterie di Volt per immagazzinare energia elettrica generata durante i periodi di scarsa richiesta per supportare poi il picco di domanda. Ciò contribuirà a una migliore gestione della rete, migliorandone affidabilità ed efficienza.
3. **Alimentatori in back-up:** con il sistema di batterie Volt si può accumulare energia elettrica che potrà poi essere utilizzata in caso di un'interruzione di corrente causata da temporali o altre calamità naturali.
4. **Tempo di gestione di utilizzo:** i clienti industriali possono immagazzinare a basso prezzo l'energia nelle batterie di Volt nei periodi non di punta ed utilizzarla quando si raggiunge il picco giornaliero della domanda, per un risparmio sui costi.

<i>Programma di simulazione dei risultati</i>	ENERGY OPTIMUS (VERSIONE MOBILITY) (settore mobilità')
DESCRIZIONE	
<p>Programma per la valutazione di configurazioni impiantistiche con generazione elettrica e termica distribuita a scala di distretto, sia connesse alla rete elettrica che autonome. "Energy optimus" consente di svolgere un'analisi di ottimizzazione e parametrica per valutare la fattibilità tecnica ed economica di un notevole numero di opzioni tecnologiche, tenendo conto delle variazioni nei costi delle tecnologie e della disponibilità di risorse energetiche. Le tecnologie di generazione previste includono: solare fotovoltaico, turbine eoliche, mini/micro-idroelettrico, motori a combustione interna, microturbine e celle a combustibile per cogenerazione. I combustibili previsti sono benzina, gasolio, gas metano, idrogeno, biogas, biomassa, con possibilità di modificare, sulla base delle esigenze dell'utente, i parametri e prevedere il co-firing negli impianti. Le opzioni di stoccaggio dell'energia per sistemi autonomi prevedono batterie convenzionali, batterie a flusso d'elettrolita, produzione di idrogeno tramite elettrolisi dell'acqua e suo stoccaggio in serbatoio.</p>	
INPUT AL PROGRAMMA	
<p>Curve di carico elettriche e termiche del settore residenziale con risoluzione temporale fino ad un minuto, efficienze e caratteristiche delle tecnologie, investimento iniziale, costi di esercizio e manutenzione, vincoli di emissione e parametri suscettibili di variazione (per analisi parametriche)</p>	
OUTPUT DEL PROGRAMMA	
<p>Ottimizzazione e analisi parametrica dei sistemi modellizzati, determinazione dei consumi e dei costi complessivi, valutazione delle emissioni di CO₂</p>	
TIPO DI CALCOLO/ALGORITMO	
<p>Analisi dinamica semplificata con passo temporale di regolazione del funzionamento rispetto al profilo dei carichi elettrici oppure rispetto al ciclo di carica delle batterie qualora si abbia un sistema stand-alone.</p>	
ALTRE ANALISI IN OUTPUT	
<p>Valutare la fattibilità tecno-economica ed effettuare il pre-dimensionamento di un sistema di generazione distribuita locale, date determinate condizioni di tipo economico ed ambientale. E' utile nel caso si voglia svolgere una valutazione preliminare dell'impatto conseguente all'adozione di tecnologie di generazione distribuita locale provinciale, regionale, e nazionale.</p>	

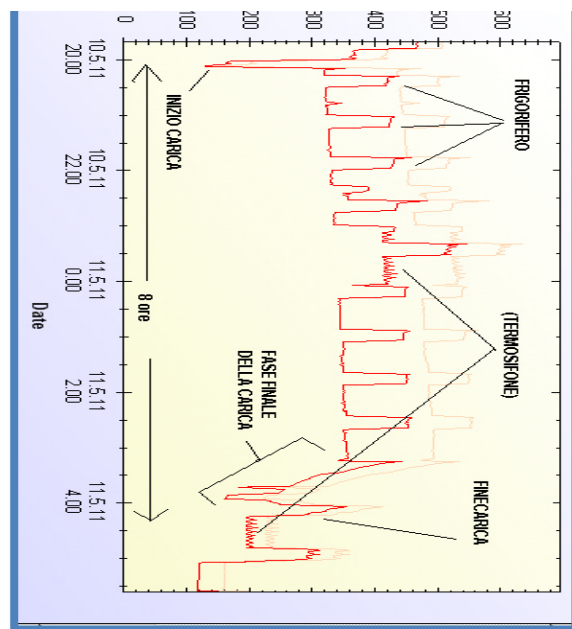
SCHEMA RIEPILOGATIVO DEGLI ALGORITMI SEGUENTI (settore residenziale-terziario)

1	<i>Le radiazioni giungono dal Sole e la frazione di energia solare che coglie la superficie è da questa assorbita</i>	
2	2.a	I pannelli installati sul tetto della struttura residenziale captano l' irraggiamento solare
	2.b	I pannelli installati sul tetto della struttura residenziale captano l' irraggiamento solare
3	<i>La centralina ed il programma software abbinato a questa consentono le funzioni sopra descritte di rilevamento ed immissione</i>	
4	4.a	Possibilità di usufruire degli usi residenziali (conservazione cibi, illuminazione, climatizzazione)
	4.b	Possibilità di usufruire degli usi tipici del terziario (climatizzazione uffici, aspetto tecnologico, illuminazione)

SCHEMA RIEPILOGATIVO DEGLI ALGORITMI SEGUENTI (settore mobilità)

1	<i>Le radiazioni giungono dal Sole e la frazione di energia solare che coglie la superficie è da questa assorbita</i>	
2	<i>I raggi solari costituenti energia solare sono accumulati in accumulatori appositi e convertiti in energia elettrica successivamente dall' inverter, il quale rende dunque l' energia solare pronta per essere utilizzata dai mezzi di trasporto</i>	
3	<i>L' elettricità funge da sostentamento per l'auto che può così muoversi</i>	

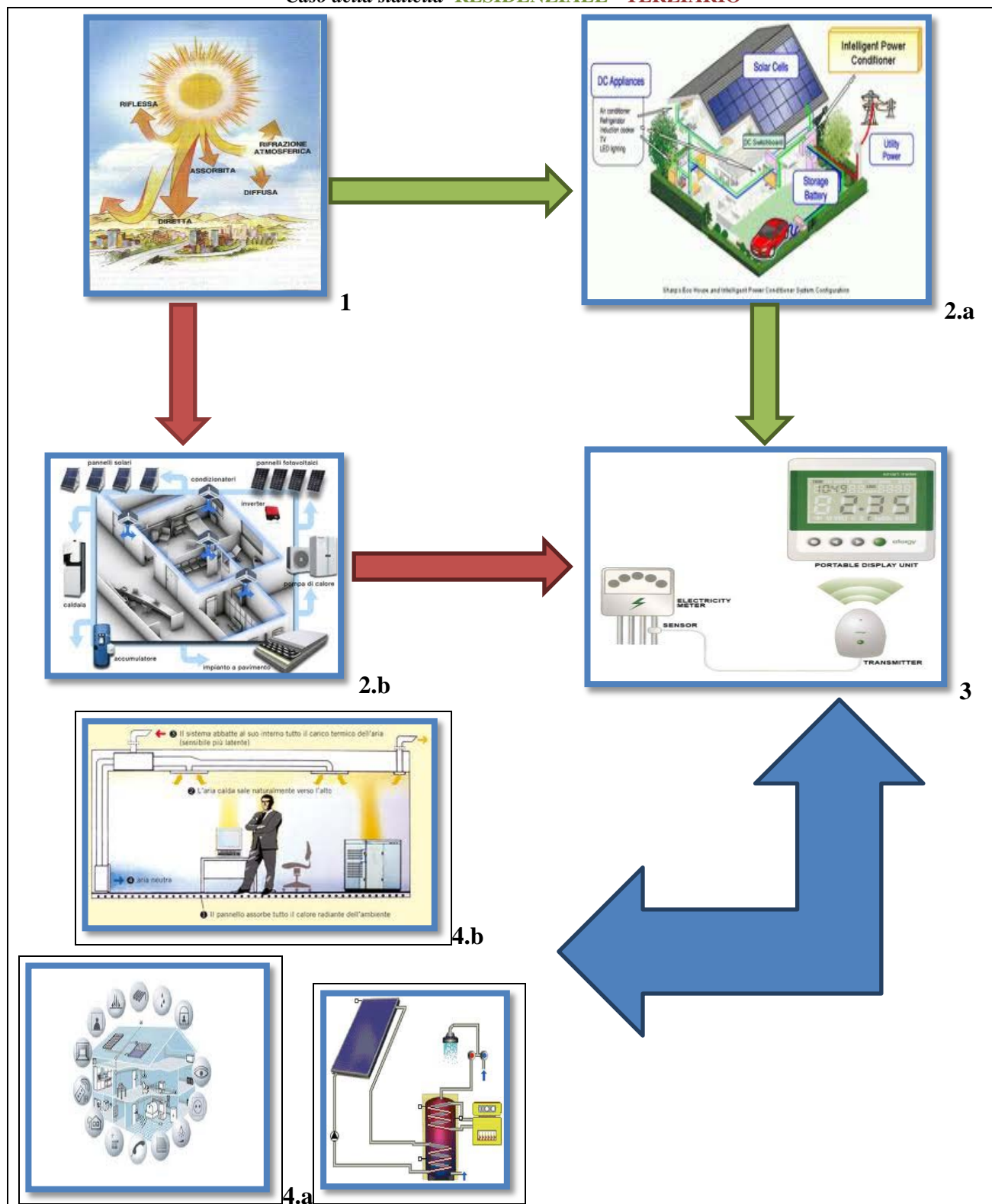
Figura 3-Ripartizione dei carichi nell' esempio del settore residenziale quando si applica la rete smart, all' apparato delle strutture residenziali, Come si vede bene in concomitanza degli orari di maggiore richiesta, cioè ore 20-22, (vedi capitolo 3), la curva viene modificata , ripartendo più equamente il carico di richiesta elettrica.Pre analizzare il residenziale, abbiamo considerato le principali richieste di energia ossia conservazione cibi, ed il riscaldamento degli ambienti domestici (vedi capitolo 3).



ALGORITMO 1:

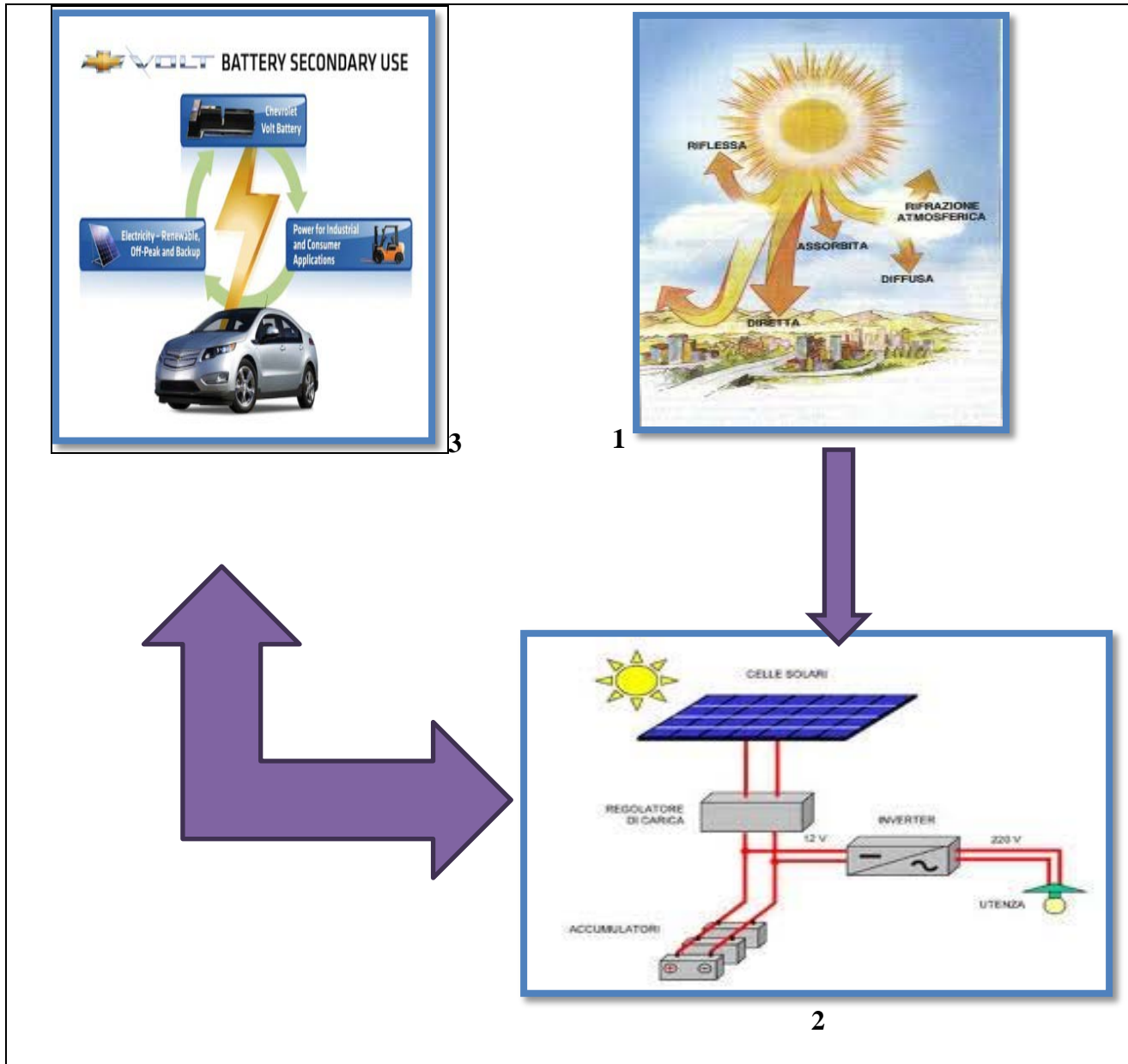
(diagramma di flusso delle operazioni necessarie per ottenere un sistema solare termico)

Caso della staticità–RESIDENZIALE - TERZIARIO



ALGORITMO 2:

(diagramma di flusso delle operazioni necessarie per ottenere un sistema solare termico)

Caso della mobilità-TRASPORTO STRADALE

ALLEGATI

SEZIONE III

ALLEGATO 1 : THE SMART GRID: WHERE TO START (CAPGEMINI)

ALLEGATO 2: INFOSTRUCTURE TRANSFORMATION SERVICES per l'adozione del Cloud Computing

ALLEGATO 3 : TERM – Transport and Environment Reporting Mechanism

ALLEGATO 4 : Caso studio - Ipotesi di riutilizzo di batterie Volt

ALLEGATO 5: COMUNICATO STAMPA TOYOTA

ALLEGATO 6: STAZIONE DI SERVIZIO A EMISSIONI ZERO. PRESENTAZIONE

The Smart Grid— Where to Start

The Five Foundational Elements of the Smart Grid



Introduction

Deploying a Smart Grid is not a project. It's not even a program. Though it might be launched as such, it quickly evolves into something far greater. It is, in fact, a transformation.

As utility companies across the world are increasingly discovering, the deployment of a Smart Grid fundamentally changes the way they generate data, present information, make decisions, execute work and relate with their customers. For this reason, it is important to ensure that the foundation of your Smart Grid is solid.

Many, if not all, of the foundational elements are already in place at most utilities. However, getting them to meet the new requirements that Smart Grid creates will present significant challenges to those responsible for deploying and operating them.

To help your company overcome these potential roadblocks, Capgemini will describe the five critical “behind the scenes” issues that utilities will inevitably face in deploying a Smart Grid: **GIS Data and Processes, Existing WAN/LAN Networks, Energy Delivery Network Topology, Integration Architecture, and Legacy IT Systems**. Based on our experience in collaborating with leading utilities on successful Smart Grid deployments around the world, this document provides our insights and recommendations for building a strong Smart Grid foundation.



Element 1: GIS Data and Processes

Why is the GIS so Important to the Smart Grid?

Remember that new Geographic Information System (GIS) you put into place a decade ago? You should consider your company lucky if the GIS was deployed with the needs of passing a robust data set to an Outage Management System (OMS) in mind. Even luckier, that GIS data has been rigorously maintained and updated over the years. And luckiest of all, that GIS adheres to an industry integration standard.

With the Smart Grid's promises of a more reliable, robust electric delivery system comes the virtual representation of that system used to make operational decisions. The source of the base data for this virtual representation is the GIS. If the GIS data is not accurate and timely, or if the information cannot be easily transferred to the other systems that require it, the decisions made based on the virtual representation are flawed from the start. That's why it is essential that the GIS has the following characteristics:

Phasing Accuracy

The phases represented in the GIS data need to correspond accurately with the phases in the actual delivery network. This is vital for any decisions pertaining to single phase loads.

Connectivity Accuracy

The line segment connectivity needs to be contiguous and consistent. The connectivity hierarchy of premise, meter, transformer, primary phase(s) needs to be accurate for proper OMS operation and reporting, demand-side management, and any near-real-time circuit analysis, just to name a few.

Landbase Accuracy

When passed to the OMS or a Mobile Workforce Management System (MWM), the GIS landbase needs to be accurate and consistent. This is typically a challenge for companies involved in a recent merger or acquisition, requiring them to integrate GIS data from multiple legacy GIS systems with varying coordinate systems and then coordinate projections. Operationally, vehicle routing decisions are based on this information. From a planning and engineering standpoint, land use and the placement of devices, lot lines and other facilities rely on an accurate GIS landbase.

Spatial Positioning Accuracy

Wasted time and frustration of field personnel can be avoided if the device they are sent to repair is (or in some cases was) physically at the coordinates the virtual system tells them – or at least within sight of the location. This is a significant issue with rear-lot construction and during major restoration events.

Ability to Provide As-Designed Energy Delivery Network Model

The GIS must be able to efficiently and effectively export the required data to the systems that need it, preferably in a format that is easily imported by those receiving systems. This is as much a procedural challenge as a technical one, requiring a quality assurance and quality control process to ensure the exported GIS data will render without excessive exceptions into the new as-operated network model.



Element 2: Existing WAN/LAN Networks

Existing WAN/LAN Networks

It is critical—at the early design stages of the Smart Grid—to perform a thorough analysis of your existing WAN/LAN infrastructure configuration in relation to the physical locations of the Smart Grid systems hardware and backhaul connectivity locations. It may be necessary to rebuild or replace a portion of this infrastructure, which is neither quick nor inexpensive. Some of the key areas to analyze are as follows.

Security

Data network security for the Smart Grid is paramount. In the early design stages of the Smart Grid the issue is not necessarily what security capability is needed, but what capability can be supported by the existing network infrastructure that needs to be known. Once it is known, a valid gap can be determined and the economic impact of closing that gap calculated. Having half of the equation accurately determined and documented can save time and money through the reconfiguration of existing infrastructure. The capability of your existing network to support Virtual LANs (VLANs) is a critical component to implementing a secure Smart Grid.

Bandwidth

Do you know how much bandwidth remains on your existing network? A Smart Grid implementation will regularly require massive, multiple-terabyte data transfers between strategic points of the WAN. If you don't want these transfers to slow the performance of your network to a crawl, you need to consider a few things: How much bandwidth do you really have available

for the data packet types you will be moving around and can your existing network manage or prioritize the movement of those data packets? If you have only a few Mbps remaining and cannot implement Quality of Service (QoS) on the existing WAN, your Smart Grid budget just got bigger.

Robustness

Simply put, a robust network is difficult to break. This is the result of many factors including hardware, software, infrastructure management, transport medium, and the physical path that medium takes. Redundancy and geographic separation are both key. The use of SONET or other fast-failover fiber technologies is typical. You cannot hang any part of the Smart Grid core on a long radial branch and if you don't use High Availability/Disaster Recovery architecture for Smart Grid systems and applications, you are placing your operation at significant risk.

Resiliency

Even the most robust network can fail, and every second of recovery time exacts a heavy toll on productivity. That's why it is critical to ensure the resiliency of your network by selecting and configuring technologies and hardware from the back-office systems, through the WAN core to the end-point devices in the field (meters, capacitor controls, etc.). It does you little good to have a field RF Mesh network that can rebuild itself around a failure in seconds or minutes if the WAN takes eight hours to rebuild, or visa versa. Resiliency is a holistic measure and needs to be determined and designed that way.

Required Connectivity

Do you need to replace the entire WAN to deploy a Smart Grid? The classic answer is: maybe. If your WAN is configured in a ring topography, and your Smart Grid systems and feed-in/out points are distributed around that ring, you need to ensure the robustness and resiliency are adequate between these critical points of the WAN.

Time Synchronization and Propagation

Time and the synchronization of it across the Smart Grid and the connected systems, applications and devices are critical. This synchronization takes place via the data network. Your WAN/LAN/Field network must support the propagation of a common time reference, typically from a GPS synchronized source, down to the millisecond for some field devices such as fault indicators. Do not be surprised if your legacy systems (mainframe) cannot make use of this signal. And Daylight Savings Time (DST) will become a thorn in your side. Operating all Smart Grid systems and applications on Coordinated Universal Time (UTC) is the easiest method to avoid DST issues.

Element 3: Energy Delivery Network Topology

Because the Energy Delivery Network (EDN) is at the core of utility distribution operations, it is the most pervasive – and the most exposed – system that utilities own. The ability to effectively reconfigure the EDN to reduce the time customers experience power outages depends on the topology of that network. How close is your grid to an actual grid of intersecting or crossing circuits of diverse sources? If you are in the U.S. and not in an urban center, the odds are pretty slim the EDN around you is anywhere close to a grid in its topology. Much of the EDN in the U.S. has a radial star topology and circuits from different substation sources rarely cross paths. To realize a major consumer benefit of the Smart Grid, fewer or shorter outages, this needs to change.

Design Practices

Do you design your circuits to achieve a predetermined Customer Average Interruption Duration Index (CAIDI)? Do you consider the proliferation of residential distributed energy resources (DERs) such as photovoltaic (PV) or plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs) in your designs? Do you consider nearly 100-percent reverse power flow a normal occurrence on distribution circuits? Do you require feeders to tie with other feeders from different substations? These are only a few of the design challenges your engineers need to overcome to deploy and extend the Smart Grid EDN.

Alternate Paths

Reducing CAIDI boils down to two critical variables: the number of customers out of service and the minutes they are out. The reduction of either relies on the isolation of the fewest

customers and the restoration of power to the remainder. Without a diverse source grid topology, you cannot restore power to customers beyond the cause of the outage via an alternate path.

Substation Capacity

Having a grid topology does you little good if the substation transformers are at maximum capacity. Adding additional customers to a feeder powered by a transformer already operating at or over-capacity puts the highest cost device (the substation transformer) at greater risk of degradation and failure. Do you know the real-time loading of your substation transformers? Including the VAR loading? Could the addition of utility owned storage or distributed generation provide the needed capacity without changing the transformer? These factors need to be carefully understood before feeders and substations begin relying on each other to mitigate outages and to provide load relief.

Circuit Capacity

The move to a true grid topology EDN requires the removal of circuit capacity and voltage level constraints to normalize power flow paths and provide the required operational flexibility. Standardizing on as few voltages and conductor sizes as possible is necessary to achieve this.

Physical Field Asset Capacity

Poles, cross arms, brackets, insulators, and down guys all have physical constraints. Do not underestimate the impact that the new Smart Grid EDN will have on these. New, larger conductor sizes may require the wholesale replacement of cross arms, insulators, brackets, and down guys

– possibly even poles – due to the additional weight of the conductor. And if you need to increase voltage levels, the same may be required to ensure adequate conductor height and spacing.

Construction Standards

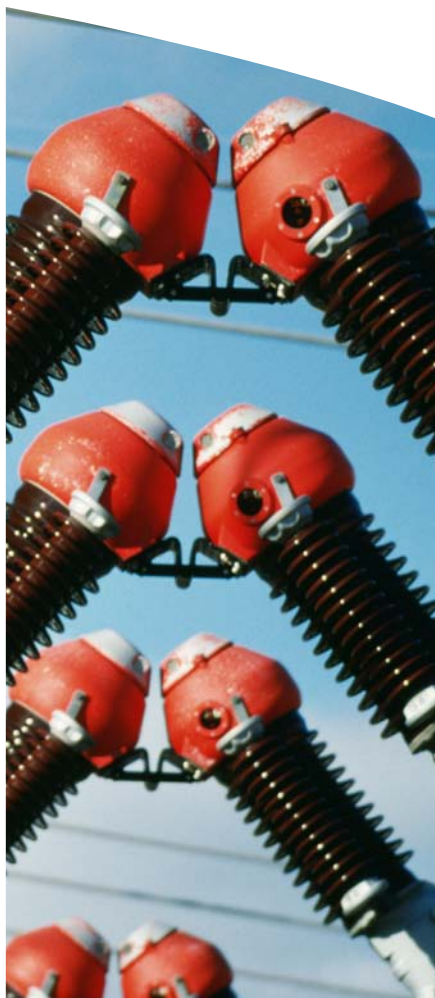
The Smart Grid brings with it new field hardware from RF Mesh repeaters to three-phase, peer-to-peer communicating, automatic load break switches. How are these devices installed in the field? Where do the communications devices attach to the pole? How are they grounded? Are the bypasses fused or solid? The list goes on and on – and needs to be completed to provide adequate construction standards for designers and construction crews.

Logistics

The addition of communications configuration and control programming, both specific to devices' physical and electrical locations, adds new installation steps to the deployment of previously "dumb" devices. Who will perform these new tasks? When will they be done? How will the configuration information be recorded, documented, and maintained? To ensure the right device is readily available whenever and wherever it's needed in the network, you must closely coordinate purchasing management, materials management and device preparation.

Element 4: Integration Architecture

If your integration architecture is built upon point-to-point interfaces, the deployment of your Smart Grid and the systems that operate it will, at the very least, be an interesting endeavor. This is not to say point-to-point interfaces are not needed. In certain circumstances, they are preferred. However, the broad spectrum of data to be collected, transformed, and managed, and the value of sharing this new information across the enterprise, makes the use of point-to-point integration well, nearly pointless.



Security

Security must be intrinsic to your integration architecture, as well as your network infrastructure and applications. Integration security deals with the separation and isolation of data elements in systems, data tables, message schemas, and ESB transport layers. It also encompasses the control of the meta-data repository associated with the Common Information Model (CIM) and access to that control. The ability to trace and log individual data elements as they traverse the integration layers of your Smart Grid can provide invaluable information in the unfortunate event of a security incident.

Service Oriented Architecture (SOA)

The best mature solution to supplant point-to-point integration methodologies, especially with the number of systems in a Smart Grid solution, is a Service Oriented Architecture (SOA). This allows systems to provide data to other systems that need it essentially “on-demand,” enabling a one-to-many integration with a high level of standardization.

Enterprise Service Bus (ESB)

The large number of systems, new and legacy, involved in deploying a Smart Grid solution makes the most efficient method for integration the implementation of a services-based message bus. Commonly called an Enterprise Service Bus (ESB) or just “The Bus,” it provides flow-related concepts such as transformation and routing to a SOA... An ESB also provides an abstraction for endpoints. This promotes flexibility in the transport layer and enables loose coupling and easy connection between services. So what does all of that mean? The systems of a Smart Grid can be

integrated via SOA without an ESB. However, an ESB makes a SOA more robust and flexible. Think plug and play at the system level.

Common Information Model (CIM)

IEC 61968 and IEC 61970—collectively referred to as “the CIM,” enable interoperability between systems at the data level. So what does that do for you? It minimizes the need for data transformation between systems—i.e. the minimum data definition and attributes are the same in all CIM compliant systems for the same data element called “CUSTOMER.” When combined with an ESB, it becomes the standard data set for your enterprise. Powerful. You need this to realize the full benefits of your Smart Grid implementation.

Business Process Monitoring or Management (BPM)

How well do you know your existing processes? Are they adequately documented? Better yet, do you know how your business processes will change during and after the implementation of a Smart Grid? The Smart Grid will transform how employees interact with each other, customers, information and the Energy Delivery Network (EDN) itself. All of this interaction enables better decisions and more effective actions. And the ESB mentioned earlier can make use of these processes to get the right information to the right personnel and systems at the right time. The ESB can also provide the data to monitor business processes and throughput to immediately identify process constraints and failures.

Element 5: Legacy IT Systems

Few Smart Grid deployments replace all involved information systems in a wholesale manner. So, the odds are there will be at least one legacy IT system integrated into your Smart Grid solution. The prime suspect is the Customer Information System (CIS). These legacy systems typically have significant constraints around the following issues.

Security

How secure are your legacy IT systems? How many personnel have the knowledge of the systems to detect malicious code? How strict are the levels of user access, audit logging, and data validation/ integrity checking? How are legacy systems exposed to the newer integration technologies? Be aware, as legacy systems are integrated into the near-real time Smart Grid world, their security constraints need to be addressed.

Place in Lifecycle

Understand where the legacy systems involved in your Smart Grid solution are in their useful lifecycle. It may be worth the wait for an older system to be replaced before spending the time and money to integrate it. Also, systems

at the newer end of the legacy spectrum may require significant work to mitigate constraints that will be around for many years to come.

Ability To Integrate

Legacy systems typically rely on older integration methods (or none at all) to share data and may not be capable of providing data in modern formats such as XML. This does not inhibit integration; it only reduces flexibility, and increases complexity and cost. You need to understand the constraints of each legacy system in your Smart Grid solution and design accordingly.

Data Structure

Constraints in field formats, field lengths, table structures, null values, leading zeros, etc. are important details that can make legacy system integration a challenge. Newer integration layer technology makes accommodating the constraints of the legacy system possible, but no less tedious. As always, the devil is in the details. And typically, changing these constraints in the legacy system is not an economic option.

Why is Capgemini's Smart Energy Services Unique?

Capgemini's Smart Energy Services are real, in the market now, and already making a difference for utilities around the world. Our expertise and resources are unmatched in the industry. In fact, only Smart Energy Services:

- Has extensive utilities industry experience with an unequalled track record for successful innovation and delivery
- Leads the industry in the delivery of smart energy solutions in mass deployment and production
- Offers a unique, turn-key solution called Managed Business Services, which has a usage-based pricing model

For more information about Smart Energy Services, please visit www.capgemini.com/smartenergy





About Capgemini and the Collaborative Business Experience

Capgemini, one of the world's foremost providers of consulting, technology and outsourcing services, enables its clients to transform and perform through technologies. Capgemini provides its clients with insights and capabilities that boost their freedom to achieve superior results through a unique way of working, the Collaborative Business Experience™. The Group relies on its global delivery model called Rightshore®, which aims to get the right balance of the best talent from multiple locations, working as one team to create and deliver the optimum solution for clients. Present in more than 30 countries, Capgemini reported 2009 global revenues of EUR 8.4

billion and employs 90,000 people worldwide.

With 1.13 billion euros revenue in 2009 and 12,000 dedicated consultants engaged in Energy, Utilities and Chemicals projects across Europe, North America and Asia Pacific, Capgemini's Energy, Utilities & Chemicals Global Sector serves the business consulting and information technology needs of many of the world's largest players of this industry.

More information about our services, offices and research is available at

www.capgemini.com/smartenergy

Douglas R. Preece

Utility Specialist

Smart Energy Services

Phone +1 317-701-6743

douglas.preece@capgemini.com



ALLEGATO 2 : Infostructure Transformation Services per l'adozione del Cloud Computing

I nuovi Infostructure Transformation Services (ITS) consentono alle aziende di rivedere la propria infrastruttura IT aggiornandola con un'architettura consolidata mantenendo e migliorando il livello operativo richiesto nell'erogazione del servizio informativo-applicativo. Obiettivo principale di questa reingegnerizzazione è l'introduzione di modelli di business innovativi che permettono una riduzione dei costi operativi in modo strutturato.

Avvalendosi dell'ITS, le aziende potranno analizzare, ottimizzare e consolidare i data center, adottando processi e tecnologie di virtualizzazione e applicando i modelli e i servizi derivanti dal cloud.

I quattro servizi chiave degli Infostructure Transformation Services:

- **Ottimizzazione dei Data Centre:** questo servizio comporta il consolidamento dei data centre, la modernizzazione dei server e della memoria e la razionalizzazione del portafoglio delle applicazioni. All'ottimizzazione dei Data Centre sono interessate le organizzazioni con attrezzature non aggiornate, di scarsa qualità oppure male equipaggiate per affrontare le richieste avanzate dei moderni hardware. L'ottimizzazione potrebbe ridurre i costi di gestione del 25% e ottimizzare lo spazio disponibile del 75%
- **Virtualizzazione:** questo servizio converte hardware, server, network, memoria e desktop in ambienti virtuali. Questo migliora radicalmente l'utilizzo, la velocità dell'erogazione e dell'approvvigionamento e abilita nuovi modelli di supporto. Alla virtualizzazione sono interessate le organizzazioni che mirano ad un miglioramento qualitativo, evitando future spese di capitale. I progetti di virtualizzazione potrebbero ridurre il numero dei server necessari in media del 55-75%, migliorando significativamente la tipica utilizzazione del patrimonio IT
- **Comunicazione e Collaborazione Unificata (UCC):** L'UCC (Unified Communications and Collaboration) aiuta ad accelerare il flusso d'informazioni attraverso tutte le piattaforme, unendo i gruppi di utenti per favorire una maggiore interazione fra le risorse umane, i partner o i consumatori. All'UCC sono interessate le imprese che mirano a ridurre i costi attraverso processi di sviluppo; le imprese che registrano un'alta crescita, quelle che

stanno penetrando in nuovi mercati e quelle che necessitano collaborare con le altre aziende o con i consumatori. I clienti Capgemini assistono ad una riduzione dei costi fino al 50%

- **Cloud Computing and Services:** consente alle aziende di aumentare la loro capacità di calcolo attraverso pubblici, privati e ibridi modelli cloud. Il cloud computing è rilevante in particolar modo per le organizzazioni che hanno un modello di business soggetto a significative fluttuazioni della domanda – per esempio nel retail, nell'industria farmaceutica; i cloud services sono ideali per quei modelli di business che necessitano un costante aggiornamento e differenziazione, ma che richiedono una continua innovazione efficace dal punto di vista dei costi

ALLEGATO 3 : TERM – transport and environment reporting mechanism

In ambito Europeo, un sistema di reporting è il TERM (Transport and Environment Reporting Mechanism), creato dall'Agenzia Europea dell'ambiente e dalla Commissione Europea su richiesta del Consiglio Europeo di Cardiff del 1998 e monitorato dal Sesto Piano d'azione ambientale e della Strategia dell'UE per lo sviluppo sostenibile

Gli indicatori TERM, suddivisi in sette gruppi, sono organizzati secondo il modello DPSIR (Determinanti, Pressioni, Stato, Impatto, Risposte). L'analisi effettuata con il sistema TERM evidenzia che non è possibile risolvere i molteplici problemi generati dal settore dei trasporti attraverso soluzioni parziali se non attraverso una politica dei trasporti coerente e integrata. Lo schema seguente raffronta gli indicatori su trasporti e ambiente proposti dall'Agenzia europea dell'ambiente con quelli sviluppati da ISPRA, per i quali viene anche indicato il tema SINANET di riferimento.

Indicatori TERM	Corrispondenza indicatori ISPRA	Tema SINAT
1. IMPATTO AMBIENTALE DEI TRASPORTI		
Consumi energetici finali nei trasporti per modalità	Consumi energetici nei trasporti	Trasporti
Emissioni di gas serra dai trasporti	Emissioni di gas serra dai trasporti	Trasporti
Emissioni di inquinanti atmosferici dai trasporti	Emissioni di inquinanti atmosferici dai trasporti	Trasporti
Superamenti degli obiettivi di qualità dell’aria dovuti al traffico	Qualità dell’aria: Particolato PM10; Qualità dell’aria: Ozono (O3); Qualità dell’aria: Biossido di Azoto (NO2); Qualità dell’aria: Benzene (C6H6); Qualità dell’aria: Biossido di Zolfo (SO2);	Qualità dell’Aria
Rumore da traffico: esposizione e disturbo	Rumore da traffico: esposizione e disturbo	Rumore
Frammentazione di ecosistemi ed habitat da parte delle infrastrutture di trasporto	Urbanizzazione e infrastrutture	Uso del territorio
Prossimità delle infrastrutture di trasporto ad aree designate	Pressione antropica in zone umide di importanza internazionale;	Zone umide
Occupazione di territorio da parte delle infrastrutture di trasporto	Urbanizzazione e infrastrutture	Uso del territorio
Morti in incidenti stradali	Incidentalità nel trasporto	Trasporti
Sversamenti accidentali e illegali di petrolio in mare	Sversamenti accidentali e illegali di petrolio in mare	Trasporti
Oli e pneumatici usati dai veicoli stradali	Rifiuti da veicoli stradali	Trasporti
Rifiuti da veicoli stradali		
2. DOMANDA E INTENSITÀ DI TRASPORTO		
Trasporto passeggeri	Domanda e intensità del trasporto passeggeri	Trasporti
Trasporto merci	Domanda e intensità del trasporto merci	Trasporti
3. PIANIFICAZIONE TERRITORIALE E ACCESSIBILITÀ		
Accesso ai servizi di base	-	-
Accessibilità regionale ai mercati e coesione	-	-
Accesso ai servizi di trasporto	Accessibilità ai servizi di trasporto	Trasporti
4. OFFERTA DI INFRASTRUTTURE E DI SERVIZI DI TRASPORTO		
Capacità delle reti infrastrutturali	Capacità delle reti infrastrutturali di trasporto	Trasporti
Investimenti nelle infrastrutture	-	-

5. COSTI E PREZZI DEI TRASPORTI		
Modifiche reali dei prezzi del trasporto per modalità	Prezzi del trasporto	Trasporti
Prezzi e tasse sui carburanti	Prezzi del trasporto Prezzi dei prodotti energetici Entrate fiscali dai prodotti petroliferi	Trasporti Energia Energia
Tasse e tariffe nei trasporti	Fiscalità nei trasporti	Trasporti
Sussidi	-	-
Spese per la mobilità personale per gruppi di reddito	Spese per la mobilità personale	Trasporti
Costi esterni dei trasporti	Costi esterni dei trasporti	Trasporti
Internalizzazione dei costi esterni	-	-
6. TECNOLOGIA ED EFFICIENZA DELL'UTILIZZO		
Emissioni specifiche di anidride carbonica	Emissioni specifiche di anidride carbonica	Trasporti
Emissioni specifiche di inquinanti atmosferici	Emissioni specifiche di sostanze inquinanti	Trasporti
Coefficienti di occupazione nei veicoli passeggeri	-	-
Fattori di carico nel trasporto merci	-	-
Diffusione di carburanti a minor impatto ambientale	Diffusione di carburanti a minore impatto ambientale	Trasporti
Dimensione della flotta veicolare	Dimensione della flotta veicolare	Trasporti
Età media della flotta veicolare	Età media della flotta veicolare	Trasporti
Quota della flotta veicolare conforme a determinati <i>standard</i> di emissione	Quota della flotta veicolare conforme a determinati <i>standard</i> di emissione	Trasporti
7. INTEGRAZIONE GESTIONALE		
Attuazione di strategie integrate	-	-
Cooperazione istituzionale	-	-
Sistemi nazionali di monitoraggio	-	-
Implementazione della VAS	Stato di attuazione della pianificazione regionale	Pianificazione territoriale
Adozione di sistemi di gestione ambientale da parte delle imprese di trasporto	-	-
Consapevolezza pubblica	-	-

Tabella 1 – Indicatori TERM

Il pacco al litio-ioni non si butta via, ma si mette in rete

Dopo aver realizzato e commercializzato la berlina “Volt”, Chevrolet ha avviato uno studio, in collaborazione con ABB, che prevede il riuso del pacco batteria in dotazione all’auto, una volta degradato.

Qualora infatti il pacco batterie non garantisca più un'autonomia sufficiente all'auto, potrebbe essere utilizzato ancora per un lungo periodo, rimuovendolo dal veicolo e collegandolo alla rete elettrica per realizzare “serbatoi” di energia per far fronte a picchi di richiesta energetica e black out.

Alla stregua dell’analogo progetto 4R (Riusa, Ricicla, Rifabbrica, Rivendi) di Nissan e Sumitomo, anche GM sta valutando la possibilità di offrire una seconda vita alle batterie al litio-ioni parzialmente “consumate” e i primi test di laboratorio, basati sull’ accoppiamento delle batterie Chevrolet e del sistema di controllo fornito dalla ABB hanno dimostrato la funzionalità della soluzione.



Fig. 1 Batteria in dotazione alla berlina Chevrolet Volt



Fig. 2 Chevrolet Volt

Lo schema di utilizzo prevede che sia l'azienda di distribuzione di energia a gestire (e possedere) i sistemi di immagazzinamento, prevedendo, ad esempio, di caricarli nelle ore di bassa richiesta e restituendo l'energia nelle ore di massimo consumo. Con il vantaggio indiretto di disporre di grandi “gruppi di continuità” da utilizzare non solo in caso di black out, ma anche per dare maggiore stabilità e qualità alla corrente alternata fornita dalla rete. Secondo GM e ABB, 33 pacchi batteria usati potrebbero garantire 4 ore di autonomia elettrica a 50 abitazioni in caso di black out.

Il prossimo passo previsto è la realizzazione pratica di un sistema capace di immagazzinare 50 kWh, con potenza massima di 25 kW erogabile quindi per un paio d'ore. Non ci sono dettagli sul numero di batterie necessarie, ma ricordiamo che a nuovo la potenza nominale del pacco da 170 kg a forma di “T” utilizzato dalla Volt e composto da 288 celle è di 16 kWh. Di questi solo 10,4 sono effettivamente sfruttati per la propulsione proprio per assicurare l'affidabilità della batteria stessa, garantita dalla Casa 8 anni o 160.000 km.



CHEVROLET VOLT BATTERY STORAGE SECONDARY USE



33 VOLT BATTERIES COULD POWER 50 HOUSES



FOR APPROXIMATELY 4 HOURS DURING POWER OUTAGE

Nov. 15, 2011

TMC to Participate in 'Smart Mobility City 2011' Exhibit at Tokyo Motor Show

Toyota City, Japan, November 15, 2011—Toyota Motor Corporation (TMC) will participate in the "Smart Mobility City 2011" exhibit organized by the Japan Automobile Manufacturers Association, Inc. for the 42nd Tokyo Motor Show 2011, which will be held at Tokyo Big Sight from November 30 through December 11^{*1}.



Image of Toyota booth



Toyota Smart Mobility Park

TMC's booth, with the overall theme of "A not-too-distant future where society and transportation are linked", will showcase state-of-the-art technologies in three themed zones:

- 1) Mobility diversification and next-generation charging
- 2) Vehicle-home energy management
- 3) Next-generation ITS (vehicle-infrastructure cooperative systems, safety equipment, and automated driving)

1) Mobility Diversification and Next-generation Charging

Toyota Smart Mobility Park

The Toyota Smart Mobility Park, a next-generation charging station based on a vision for a near-future society, is equipped with chargers and batteries fueled by solar and wind power for use in various ways of charging next-generation environment-friendly vehicles, such as plug-in hybrid vehicles (PHVs) and electric vehicles (EVs), as well as other electric-powered means of mobility. Through collaboration with the Toyota Smart Center energy management system, Toyota Smart Mobility Park addresses the needs brought on by mobility diversification and will function as a hub that manages energy used for transportation and supports future car-sharing systems.

Communications-linked Scooters and Cycles

Also on display will be communications-linked concept electric scooters and electric-assisted bicycles created through collaboration with Yamaha Motor Co., Ltd. These next-generation scooters and cycles will use wireless communications such as smartphones and Wi-Fi to link with the Toyota Smart Center to exchange information such as charging-stand information (location, availability and charging status), sharing-service information and status-information uploaded from the scooters or cycles.

2) Vehicle-Home Energy Management (PHV/EV Home Energy Management)

H2V Manager

The H2V ("home to vehicle") Manager is a tool for effective and economic control of household power supplies to charge PHVs and EVs. Users can connect to the H2V Manager (wired or wireless) from a home PC, television or smartphone to set or adjust their PHV or EV charging start time, as well as check the total amount of household electric power consumption. The system can also halt charging to prevent circuit breakers from activating during increased electrical usage when multiple home appliances are being used simultaneously, and also resume charging during periods of excess power supply. Sales are scheduled to begin in January 2012 through Toyota Housing Corporation.

3) Next-Generation ITS (Vehicle-Infrastructure Cooperative Systems, Safety Equipment and Automated Driving)

TMC will present information concerning its initiatives in the field of Vehicle-Infrastructure Cooperative Systems that support safe and environment-friendly driving by linking vehicles on the road with each other and with the traffic infrastructure itself. TMC will also present advanced safety features such as the Pre-collision Safety System.

Automated driving will be demonstrated by TMC with rear-seat test rides^{*2} of the Toyota A.V.O.S.^{*3}, a self-driving version of the Prius. The vehicle can drive to the owner when summoned, can avoid obstacles and can park.

Also on display will be samples of green walls and green parking areas developed by TMC to reduce CO₂ levels and temperatures in urban areas and help in the creation of low-carbon societies.

Furthermore, an area equipped with Microsoft Kinect^{*4} units, which are motion-sensing game controllers, will enable visitors to experience TMC's vision of a near-future society through a game-like interface.

^{*1}Press days: November 30 and December 1; special guest day: December 2; public days: December 3-11

^{*2}To be conducted at the outdoor exhibition area on the 4th floor of the West Exhibition Hall. A reservation will be required.

^{*3}Automatic Vehicle Operation System

^{*4}A game console controller from Microsoft Corporation that employs full-body motion control

End



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA



MasterEfor

*efficienza energetica
e fonti rinnovabili*

Stazione di servizio
ad emissioni zero

Progetto stazione di servizio

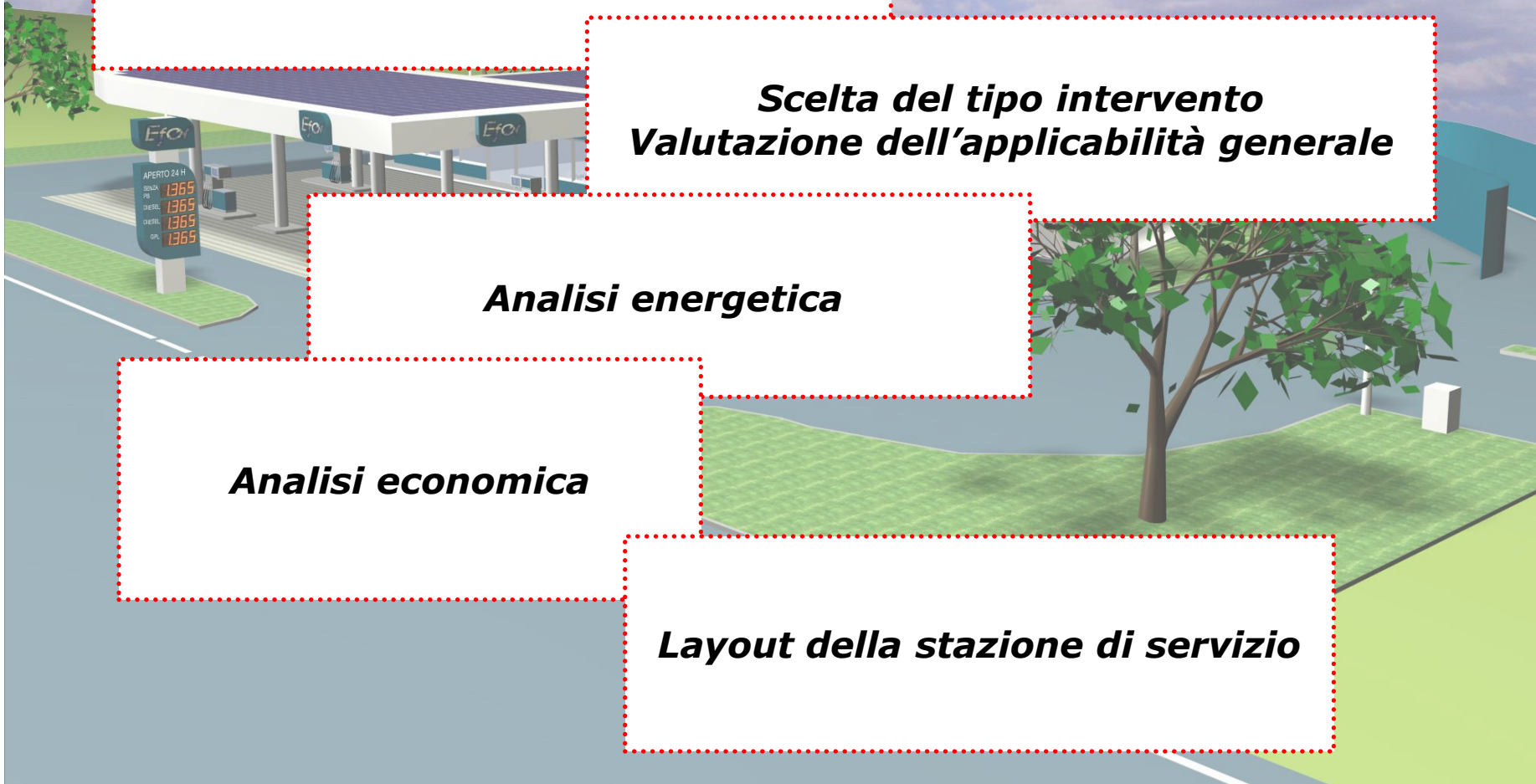
***Stima dei fabbisogni
Individuazione dei centri di consumo***

***Scelta del tipo intervento
Valutazione dell'applicabilità generale***

Analisi energetica

Analisi economica

Layout della stazione di servizio



Centri di consumo

Nella configurazione iniziale, i consumi sono totalmente elettrici

Area oil

Area shop/
non oil

Area
lavaggio

Illuminazione
Rifornimento

Illuminazione
Climatizzazione
Macchinari

ACS
Macchinari

TOTALE

kWh/anno

30660,00
486,67

6669,28
24090,00
85431,83

22258,40
9733,33

179329,51

Intervento di Efficienza Energetica

***Riscaldamento
Raffrescamento
Acqua calda sanitaria***



trigenerazione

Esempio:

Allacciamento di alcuni macchinari direttamente alla rete di ACS, come macchina del caffè e lavabicchieri.

Effetti: riduzione del 50% dei consumi elettrici

Si aggiunge una quota di consumi termici, che sono però soddisfatti tramite cogenerazione

Fonti rinnovabili: ipotesi di tecnologie applicabili

Fotovoltaico :

- applicabile in ogni zona, con necessarie differenze di producibilità annua dipendenti dall'irraggiamento medio del sito. Sconsigliato in zone scarsamente soleggiate, o in presenza di ampie zone d'ombra.
- perfettamente integrabile architettonicamente

Può essere scelto per le stazioni di servizio, soprattutto negli impianti periferici ed autostradali

Eolico :

- applicabile solo in zone con forte ventosità

La tecnologia eolica è da escludere poiché raramente le stazioni di servizio vengono collocate in zone molto ventose

Fonti rinnovabili: ipotesi di tecnologie applicabili

Solare termico :

- Ottima soluzione per la produzione di acqua calda, ha le stesse caratteristiche di applicabilità del fotovoltaico

Può essere scelto per le stazioni di servizio, ma la sua producibilità in kWh/m² è minore rispetto al fotovoltaico

Geotermia :

- Permette la produzione di energia termica per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria

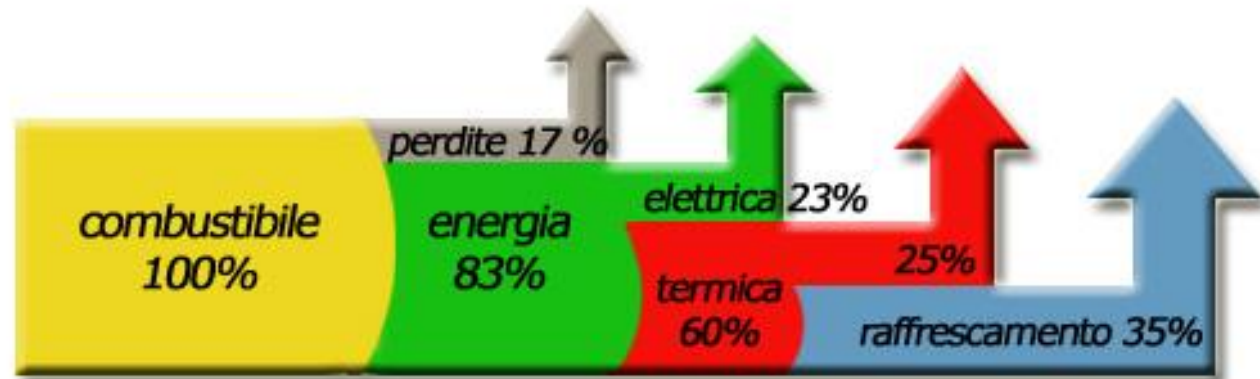
Confrontando geotermia e trigenerazione, si preferisce la seconda per la possibilità di produrre anche energia elettrica e per l'economicità dell'intervento.

La Trigenerazione

Particolare applicazione della cogenerazione, che permette la produzione contemporanea di energia elettrica e termica.

L'energia termica prodotta viene usata in parte tale e quale, permettendo la produzione di acqua calda sanitaria ed il riscaldamento.

La parte restante viene usata per il raffrescamento tramite un sistema ad assorbimento.



Ai fini di un corretto dimensionamento, è ideale una situazione nella quale i consumi termici siano superiori a quelli elettrici

Alcuni dati sul cogeneratore

Potenza Termica assorbita	17,6 kWt
Potenza Termica erogata	10,3 kWt
Potenza Elettrica	5,3 kW

Numero cogeneratori installati: 2

Energia elettrica prodotta: 60792,85 kWh/anno

Consumo di carburante: 17049,4 l/anno



Avendo scelto come carburante del biodiesel/olio vegetale si possono richiedere i certificati verdi o in alternativa, essendo la potenza installata minore di 1 MW, una tariffa omnicomprensiva pari a 0,30 €/kWh se da filiera corta o 0,22 €/kWh se non è da filiera corta.

I pannelli fotovoltaici

Il fotovoltaico è la tecnologia che si presta maggiormente all'integrazione architettonica

I pannelli CIS rappresentano una delle applicazioni più versatili e personalizzabili, e offrono la possibilità di realizzare vetri fotovoltaici con diversi gradi di trasparenza.

PANNELLI CIS: caratteristiche

Potenza di picco: 80 Wp

Superficie pannello: 0,75 mq

FABBISOGNO ELETTRICO: 62636,64 kWh/anno

QUANTITA' DI PANNELLI: N° 650

Potenza di picco dell'impianto 52 kWp

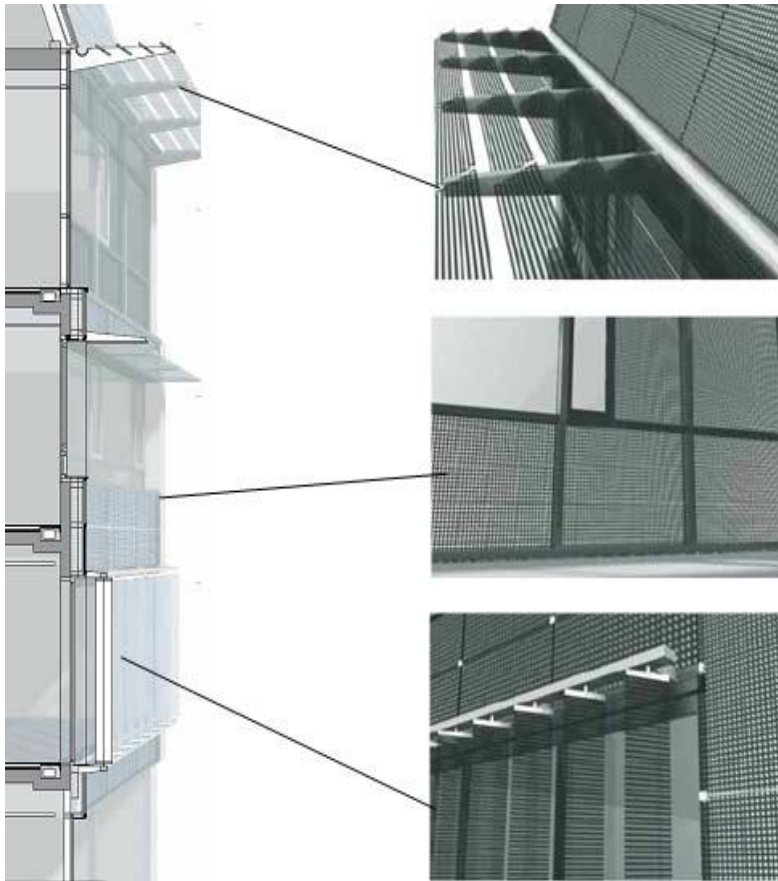
Energia prodotta: 62676,51 kWh

ISTALLAZIONE ORIZZONTALE SULLA PENSILINA CON TOTALE INTEGRAZIONE

I pannelli fotovoltaici

Perfetta integrazione architettonica

Diversi livelli di trasparenza



Centri di consumo

Configurazione finale: consumi elettrici e consumi termici

		kWh/anno	kWh _t /anno
Area oil	Illuminazione	30660,00	/
	Rifornimento	486,67	
Area shop/ non oil	Illuminazione	6669,28	/
	Climatizzazione	/	23940,00 (se raffrescamento 40824,00)
	Macchinari + ACS	42715,91	15852,03
Area lavaggio	ACS	/	20032,52
	Macchinari	9733,33	/
	TOTALE	90265,19	59824,55 (con raffrescamento 76708,55)

RIDUZIONE DEL 50% DEI CONSUMI ELETTRICI

Bilancio della CO2

CO2 iniziale

consumo annuale energia elettrica: 179.329,51 kWh.
1MWh = 0.23 tep \longrightarrow consumo di energia primaria pari a 41.24 tep.
*per ogni tep consumato vengono emesse circa 3,2 tonnellate di CO2,
la stazione di servizio emette 132,98 tCO2.*

CO2 finale

energia primaria (EP) consumata dal cogeneratore: $PCI=8900 \text{ kcal/kg}$
Consumo Biodiesel $M= 19507,33 \text{ kg}$ $EP=M*PCI=17,36 \text{ tep}$
si considera un fattore pari a 3,2 tCO2/tep, e si ottiene un valore pari a
55,55 tCO2.

Se il cogeneratore viene alimentato a biodiesel, le emissioni possono essere
Ritenute nulle e si ottiene una stazione di servizio **ad emissioni zero**

Analisi economica

Anno	€
2009	-€ 357.609,45
2010	-€ 322.218,90
2011	-€ 286.828,35
2012	-€ 251.437,80
2013	-€ 216.047,25
2014	-€ 180.656,69
2015	-€ 145.266,14
2016	-€ 109.875,59
2017	-€ 74.485,04
2018	-€ 39.094,49
2019	-€ 3.703,94
2020	€ 31.686,61
2021	€ 67.077,16
2022	€ 102.467,71
2023	€ 137.858,26
2024	€ 159.874,39
2025	€ 181.890,51
2026	€ 203.906,64
2027	€ 225.922,76
2028	€ 247.938,89

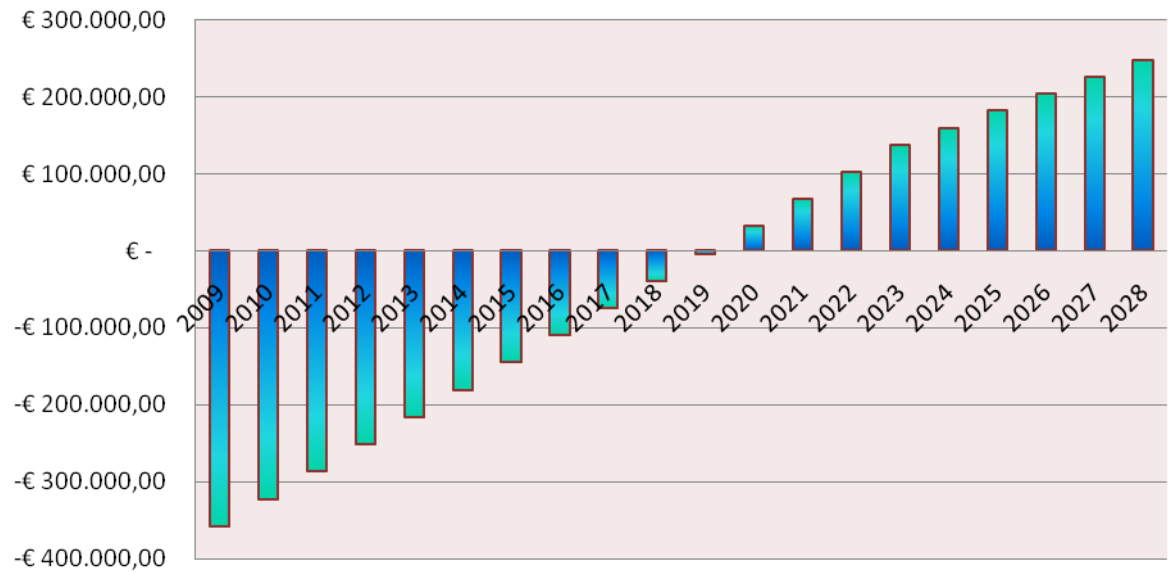
Costo dell'impianto

€ 393.000,00

Guadagno annuale

€ 35.390,55

Ritorno dell'investimento



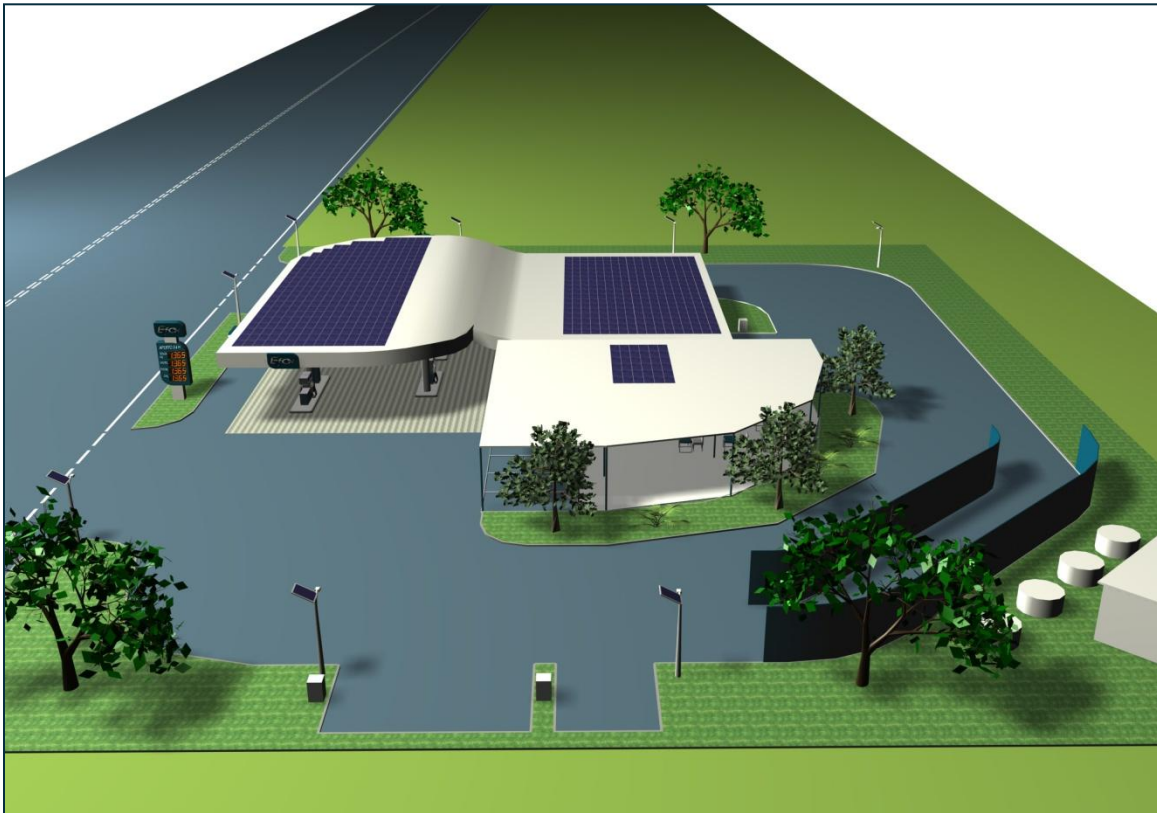
Layout

Conformazione generale della stazione di servizio tipica

Ampi spazi dedicati alle aree verdi e di ristoro

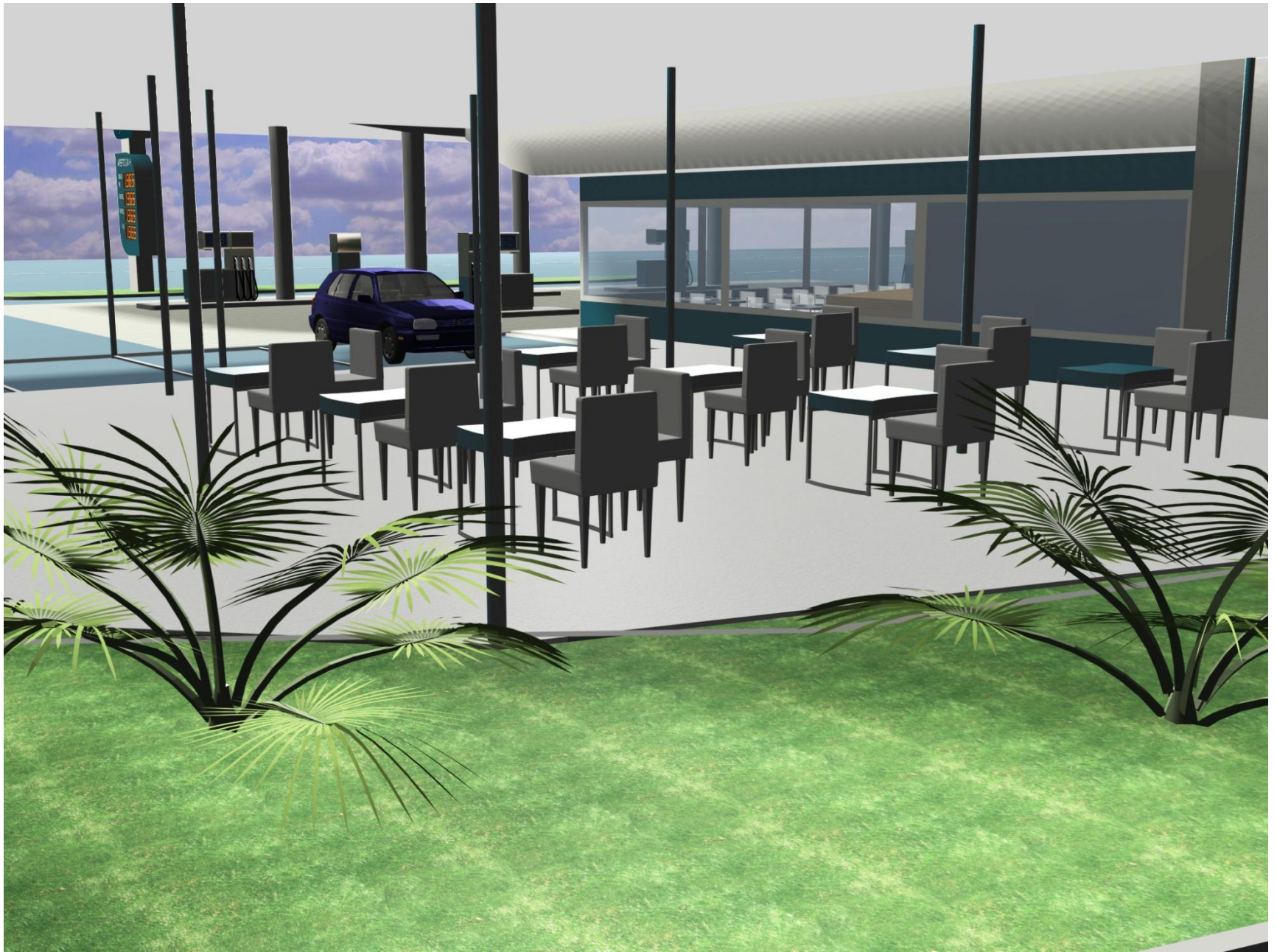
Linee più morbide per un effetto visivo più piacevole

Possibilità di integrare completamente i
pannelli CIS sulla
pensilina











SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

MasterEfer
*efficienza energetica
e fonti rinnovabili*



Conclusioni

Sarebbe stato forse più corretto inserire già dall'inizio la presentazione, risalente al 2008, del progetto della stazione di servizio ecosostenibile. Fu da lì infatti, che partì il percorso di studi di questo triennio: una ricerca finalizzata non tanto alle tecnologie, quanto alla loro integrazione con la realtà circostante e soprattutto la loro interazione, quindi una ricerca sistematica.

Il sintomo della necessità di integrare le tecnologie rinnovabili nel nostro contesto usuale, infatti, già si sentiva a partire da circa cinque anni fa, nonostante ancora ci fosse una diffusione ben ristretta di quelle che oggi non sono più fonti "alternative", bensì risorse allo streguo di quelle fossili, per la produzione di energia.

Si è visto come l'introduzione delle fonti rinnovabili abbia rivoluzionato il sistema elettrico, il sistema economico e, forse, con uno spirito più filosofico, le nostre coscienze.

Appurata la validità di esse, rimane quindi la problematica del loro inserimento nel nostro quotidiano, non solo per quanto riguarda l'inserimento dell'energia prodotta in rete, ma anche nel più ampio sistema di una rete, e di una città, smart: la sfida è dunque non farsi trovare impreparati e soprattutto avere la flessibilità, in quanto smart people, di impiegare le risorse a nostra disposizione nel modo più efficiente e costruttivo.

BIBLIOGRAFIA E FONTI PRINCIPALI

- L.Rubini, S. Sangiorgio, C. Le Noci, *Il nuovo edificio green*, Hoepli, 2010
- L.Rubini, S. Sangiorgio (a cura di), *Le energie rinnovabili*, Hoepli, 2012
- L.Rubini, M.Di Veroli, A. Calabria, *Sistemi solari termici*, Dario Flaccovio, 2008
- O. Attmann, “*Green Architecture. Advanced Technologies and materials*”, Mc Graw Hill, 2010.
- R. Hastings, M. Wall, “*Sustainable Solar Housing. Exemplary Buildings and Technologies*” , Earthscan, 2009.
- N. V. Baker, *The Handbook of sustainable refurbishment. Non-domestic buildings*, Earthscan, 2009.
- M. Filippi, G. Rizzo, “*Certificazione energetica e verifica ambientale degli edifici*”, Dario Flaccovio, 2007
- AA.VV., “*Manuale di progettazione edilizia*” , Hoepli, 1995.
- P. O’ Keefe, G. O’ Brien, N. Pearsall, “*The Future of Energy Use*” , Earthscan, 2010.
- W. Weiss, “*Solar heating systems for houses, IEA Solar Heating and Cooling Programme*”, 2003.
- G. Dell’Olio, “*Geotermia e pompe di calore. L’ambiente come fonte di energia sostenibile*”, Editoriale Delfino, 2009.
- P. Gevorkian, “*Alternative Energy systems in building design*”, Mc Graw Hill, 2009.
- C. Gallo, “*Architettura bioclimatica*” , ENEA, IN/ARCH, 1995.
- D. Laforgia, A. Perago, *La progettazione bioarchitettura*, Pensa Multimedia, 2002.
- F. M. Butera, *Dalla caverna alla casa ecologica. Storia del comfort e dell’energia*, Edizioni Ambiente, 2007.
- J. Perlin, *Dal Sole. L’energia solare dalla ricerca spaziale agli usi sulla Terra*, Edizioni Ambiente, 2000.
- A. Fassi, L. Maina, *L’isolamento ecoefficiente. Guida all’uso dei materiali naturali* , Edizioni Ambiente, 2006.
- S. Mammi, A. Panzeri, *I materiali isolanti. L’isolamento termico ed acustico*, Edizioni TEP srl, 2005.
- Y. A. Cengel, *Termodinamica e trasmissione del calore*, Mc Graw Hill, 1997;
- A. Bartolazzi, *Le Energie Rinnovabili*, Ed. Hoepli, 2007;
- AA.VV., *Docet . Protocollo di ispezione del sistema edificio-impianto*, ENEA, CNR, 2007.
- Gruppo di Lavoro Interregionale in materia di Bioedilizia, *Valutazione della sostenibilita*

- ambientale - Protocollo ITACA sintetico, Edifici residenziali*, ITACA, 2007;
- AA.VV., *Case piu silenziose, isolamento acustico*, Anit - Associazione nazionale per l'isolamento termico ed acustico.
- G. Cammarata, *Fisica tecnica ambientale*, Ed. Mc Graw Hill, 2007
- G. Alfano, M. Filippini, E. Sacchi, *Impianti di Climatizzazione per l' Edilizia. Dal progetto al collaudo*, Masson, 1997.
- M. Cappello, *Efficienza energetica degli edifici*, Grafill, 2008;
- F. Tucci, *Involucro ben temperato. Efficienza energetica ed ecologica in architettura attraverso la pelle degli edifici*, Alinea Editrice, 2006.
- S. V. Szokolay, *Introduzione alla progettazione sostenibile*, Hoepli, 2006.
- T. Schmitz-Gunther, L.E. Abraham, T.A. Fisher, *Living Spaces. Ecological Building and Design*, Konemann, 1999.
- U. Wienke, *Manuale di bioedilizia*, DEI, 2004
- Commissione Europea (a cura di), *Energia per il futuro: le fonti energetiche rinnovabili*
- ABB SACE (a cura di), *Interruttori orari digitali e analogici e interruttori crepuscolari*
- F. Fiorito, G. Fuzio, *L'involucro edilizio. Evoluzione della progettazione e del processo realizzativi*, Atti del convegno *Involucro edilizio. Innovazione e sostenibilità*, 2004
- Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio, *Strategia d'azione ambientale per lo sviluppo sostenibile in Italia*
- J. Sands (BSRIA), *Underfloor heating systems – The designers' guide*, Dicembre 2001
- G. Raffellini, *Tecniche per le energie rinnovabili – Raccolta degli appunti delle lezioni del corso*, 2005
- ENEA (a cura di), *Libro bianco per la valorizzazione energetica delle fonti rinnovabili*, 1999
- N. Lantschner, *CasaClima – Vivi in più*, Edition Raetia, Bolzano 2005
- G.V. Fracastoro, *Fondamenti e applicazioni di termodinamica*, Otto Editore, Dicembre 2000
- J. A. Duffie, W. A. Beckman, *L'energia solare nelle applicazioni termiche*, 1974, Liguori Editore
- M. A. Cucumo, V. Marinelli, G. Oliveti, *Ingegneria solare, Principi ed applicazioni*, 1994, Pitagora Editrice Bologna
- ISES Italia (a cura di), *Solare termico – Guida per progettisti e per installatori*, 2004
- G. Dall'O, P.L.Messaggi, F. Silli, *Ingegneria solare – Guida alla progettazione dei sistemi solari dell'edilizia*, Ed. CLUP, Milano 1982
- AMBIENTE ITALIA Istituto di ricerche (a cura di), *Impianti solari termici –Manuale per la progettazione e la costruzione*, 2003
- R. Lazzarin, *Energie rinnovabili: solare termico*, AICARR

CNES (a cura di), *Rapporto preliminare sullo stato attuale del solare termico nazionale*, 2008
Atti del convegno *Le prospettive del solare termico in Italia*, Expocomfort, Milano, 2008
M. Moroni, G. Nitrati, *Progettazione fotovoltaica in conto energia*, EPC Libri, Roma 2007
BRECSU (a cura di), Case study 260, *Energy efficiency in hotels – occupancy – linked controls*
DEPARTMENT of the ENVIRONMENT (a cura di), *Introduction to Energy efficiency in hotels*, Gran Bretagna, Luglio 1995
DEPARTMENT of the ENVIRONMENT (a cura di), *Introduction to Energy efficiency in catering establishments*, Gran Bretagna, Luglio 1995
BRECSU (a cura di), Guide 156, *Energy efficiency refurbishment of public houses – catering*, Gran Bretagna, Febbraio 1995

Siti Internet

<http://www.gigaom.com>
<http://microsoft.com>
<http://electric-bikes.com>
<http://www2.toyota.co.jp>
<http://mit.gov.it>
<http://www.smartgrids.eu>
<http://itsyoursmartgrid.com>
<http://www.bdi.eu>
<http://www.euromobility.org>
<http://www2.abb.com>
<http://it.capgemini.com>
<http://efficienzaenergetica.acs.enea.it/>
<http://www.agenziacasaclima.it>
<http://www.alcover.it>
<http://www.anit.it>
<http://www.archimagazine.com>
<http://www.architetturabioclimatica.it>
<http://www.architetturaecosostenibile.it>
<http://www.autorita.energia.it>
<http://www.baumit.com/>
<http://www.bpt.it>
<http://www.calfinder.com>

<http://www.casaclima.com/>
<http://www.casapassiva.com>
<http://www.cogemesnc.it>
<http://www.cti2000.it>
<http://www.eco-domus.it>
<http://www.ecologicasa.it>
<http://www.edificipassivi.com>
<http://www.edilia2000.it>
<http://www.edilio.it>
<http://www.ediliziainrete.it>
<http://www.edilportale.com>
<http://www.energoclub.it>
<http://www.enernew.it>
<http://www.epia.org>
<http://www.escoenergy.eu>
<http://www.escoenergy.eu>
<http://www.etstudio.it>
<http://www.fire-italia.it>
<http://www.fornacefonti.it>
<http://www.fullsolar.it>
<http://www.gbcitalia.org>
<http://www.gcammarata.net>
<http://www.genitronsviluppo.com>
<http://www.gse.it>
<http://www.hypucem.com>
<http://www.kensan.it>
<http://www.kloben.it>
<http://www.knaufinsulation.com>
<http://www.lacasagiusta.it>
<http://www.laterificiopugliese.it>
<http://www.linealight.com>
<http://www.lithosplus.it>
<http://www.lofsolar.com/>
<http://www.masterclima.it>

<http://www.matech.it>
<http://www.metalfoam.net>
<http://www.mygreenbuildings.org>
<http://www.nextville.it>
<http://www.pannelliradianti.it>
<http://www.pcmenergy.com>
<http://www.pienosole.it>
<http://www.poroton.it>
<http://www.provincia.bz.it>
<http://www.pv.kaneka.co.jp>
<http://www.qualitaedilizia.it>
<http://www.rinnovabili.it>
<http://www.riqualeficazioneenergetica.info>
<http://www.sacert.eu>
<http://www.schott.com>
<http://www.solair-project.eu>
<http://www.solaritaly.enea.it>
<http://www.solarspot.it>
<http://www.stape.it>
<http://www.stif.com>
<http://www.stiferite.it>
<http://www.stspolistirolit.it>
<http://www.sviluppoeconomico.gov.it>
<http://www.tecnoacustica.net>
<http://www.theoptimizer.it>
<http://www.ursa.it>
<http://www.usgbc.org>
<http://www.wienerberger.it>

Riferimenti normativi

Decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412, Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione e la manutenzione degli impianti termici degli edifici, ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art.4, comma 4 Legge 9 gennaio 1991, n. 10

Legge 27 dicembre 1997, n. 449, Misure per la stabilizzazione della finanza pubblica

Direttiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2002 sul rendimento energetico nell'edilizia

Decreto Ministeriale del 18 febbraio 1998, Regolamento recante norme di attuazione e procedure di controllo di cui all'articolo 1 della Legge 27 dicembre 1997, n. 449, in materia di detrazioni per le spese di ristrutturazione edilizia

Decreto Legislativo 31 marzo 1998, n. 112, Conferimenti di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle Regioni ed agli enti locali, in attuazione del capo I della legge 15 marzo 1997, n. 59

Risoluzione 113/E Ministero delle Finanze gennaio 1999, Risoluzione sull'aliquota IVA per la distribuzione calore attraverso fonti di energia rinnovabili

Decreto del Presidente della Repubblica 21 dicembre 1999, n. 551, Regolamento recante modifiche al decreto del presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412, in materia di progettazione, installazione, esercizio e manutenzione degli impianti termici degli edifici, ai fini del contenimento dei consumi di energia

Decreto Ministeriale del 29 dicembre 1999, Disposizioni in materia di certificazione tributaria

Direttiva 2002/91/CE, European performance of buildings

Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42, Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'articolo 10 della Legge 6 luglio 2002, n. 137

Legge Regione Toscana 24 febbraio 2005, n. 39, Disposizioni in materia di energia

Decreto Ministeriale del 27 luglio 2005, Norma concernente il regolamento d'attuazione della Legge 9 gennaio 1991, n. 10 (articolo 4, commi 1 e 2)

Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192, Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia

Legge 23 dicembre 2005, n. 266, Disposizioni per la formazione del bilancio annuale e pluriennale dello Stato (legge finanziaria 2006)

Decreto Interministeriale 19 febbraio 2007, Disposizioni in materia di detrazioni per le spese di riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente, ai sensi dell'articolo 1, comma 349, della legge 27 dicembre 2006, n. 296

Ringraziamenti

Un ringraziamento particolare al Prof. Luca Rubini, che mi segue fin dall'elaborazione della mia tesi di laurea e senza il quale questo lavoro non avrebbe avuto origine, grazie al continuo scambio di idee e elaborazione di nuovi progetti.

Un grazie inoltre a tutti quelli che hanno contribuito, in maniera diretta e indiretta, alla stesura di questo lavoro, supportandomi e incoraggiandomi nei tre anni di studio.

...e un grazie alla persona che mi incoraggia tutti i giorni, e con la quale condivido la mia professione oltre che la mia vita.

